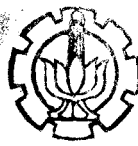


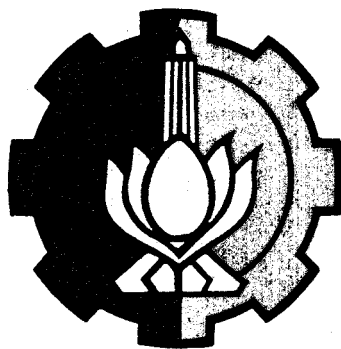
5106 / ITS / H / 93 ✓

**TUGAS AKHIR**  
**TN - 1701**



MILIK PERPUSTAKAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH - NOPEMBER

# **STUDI TENTANG CAIRAN REFRIGERANT UNTUK PEMAKAIAN DI KAPAL**



RSKE  
621.564  
Teg  
S-1  
1992

Disusun Oleh :

**DWI YUGIANTORO**  
**NRP. 485 420 0105**

**JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**1992**

**TUGAS AKHIR**

**TN 1701**

**STUDI TENTANG  
CAIRAN REFRIGERANT  
UNTUK PEMAKAIAN DI KAPAL**

*Diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik Permesinan Kapal  
di  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya*

Surabaya, 22 Agustus 1992

Mengetahui/menyetujui,  
Dosen Pembimbing



**Ir. SOEMARTOJO**  
**NIP. 130 355 300**



MILIK PERPUSTAKAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH - NOPEMBER

*Kupersembahkan hasil karya  
ini untuk :*

- Ibu dan bapakku tersayang.*
- Adik-adikku tercinta.*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tugas akhir yang merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar kesarjanaan di Jurusan Teknik Permesinan Kapal ini dapat terselesaikan.

Dalam Tugas Akhir ini secara jujur penulis akui adanya banyak kekurangan. Masalah terbesar adalah terbatasnya waktu yang tersedia disamping adanya keterbatasan kemampuan yang ada dalam mengerjakan tugas ini.

Akhirnya, penulis ucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Ir. Soeweify, M.Eng selaku Dekan Fakultas Teknologi Kelautan ITS.
2. Ir. Bambang Supangkat, selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal ITS.
3. Ir. Asianto, selaku Dosen Wali.
4. Ir. Soemartojo, selaku Dosen Pembimbing.
5. Semua pihak yang telah banyak memberikan bantuan baik moril maupun materiil.

Penulis

---

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Umum.....	1
1.2. Latar Belakang Pemilihan Judul.....	2
1.3. Tujuan Penulisan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Pembahasan.....	3
BAB II PERALATAN PENDINGIN DI KAPAL.....	5
2.1. Tujuan Pendinginan.....	5
2.2. Prinsip Kerja Sistem Pendingin.....	5
2.3. Penggunaan Peralatan Pendingin di Kapal.....	9
BAB III KARAKTERISTIK REFRIGERANT.....	15
3.1. Karakteristik Termodinamika.....	15
3.2. Karakteristik Kimia dan Fisika.....	15
3.3. Dasar Teori.....	17
3.4. Refrigerant.....	20
3.5. Nomor Identitas Refrigerant.....	23
3.6. Klasifikasi Refrigerant.....	23
3.7. Refrigerant yang ada di Indonesia.....	24
BAB IV REFRIGERANT YANG DIGUNAKAN DI KAPAL.....	45
4.1. Pemilihan Refrigerant.....	46



4.2. Perbandingan Karakteristik Thermodinamika.....	47
BAB V KESIMPULAN.....	66
BAB VI PENUTUP.....	68
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## PENDAHULUAN

## BAB I



## 1.1. UMUM

Pengkondisian udara dan refrigerasi adalah merupakan usaha manusia untuk memberikan kenyamanan dan kesegaran kerja, untuk pendistribusian dan penyimpanan makanan, serta pemrosesan dalam industri kimia.

Terutama di daerah beriklim panas, penyegaran udara dan refrigerasi merupakan suatu kebutuhan yang tidak lagi mengandung arti kemewahan. Pada waktu kini penyegaran udara dan refrigerasi sudah lazim digunakan untuk melayani keperluan hotel-hotel, gedung pertemuan, tempat tinggal, pemrosesan thermal, pemakaian di kapal dan sebagainya.

Untuk keperluan di atas, kita tidak luput dari penggunaan energi dan prestasi kerja dari sistem yang seefektif mungkin dengan cara melakukan perhitungan-perhitungan dalam perancangan sistem maupun studi dalam pemilihan komponen-komponennya. Seperti halnya dalam pemilihan jenis refrigerant yang mana masing-masing jenis mempunyai karakteristik yang berbeda. Terutama karakteristik termodinamika yang antara lain meliputi temperatur penguapan dan tekanan penguapan serta temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan. Karakteristik ini perlu sekali untuk diketahui karena nantinya dalam hal perancangan akan menentukan



kemampuan sistem untuk mempertahankan temperatur suatu ruangan atau kabinet.

## 1.2. LATAR BELAKANG PEMILIHAN JUDUL

Pada kapal yang mengangkut muatan untuk jenis-jenis tertentu memerlukan suatu alat pendingin ruangan, agar muatannya selalu dalam keadaan segar hingga sampai ketujuan. Seperti halnya kapal yang mengangkut ikan, daging, buah-buahan dan sebagainya, Tetapi ada kalanya kapal yang digunakan untuk mengangkut bahan kimia seperti gas alam cair (LNG) menggunakan mesin pendingin untuk mempermudah proses pengangkutannya. Gas alam ini diproses dengan tekanan di bawah tekanan atmosfer dengan suhu yang amat rendah sehingga dapat dirubah bentuknya menjadi cair. Dengan demikian berat gas (LNG) yang bisa diangkut bisa lebih banyak daripada dalam keadaan gas pada volume yang sama. Jenis-jenis muatan tersebut perlu temperatur tertentu dalam pengangkutannya.

Refrigerant pada sistem refrigerasi dapat diumpamakan sebagai darah yang dipompa oleh jantung (kompresor) ke seluruh tubuh (ruang pendingin).

Refrigerant tersebut banyak sekali macamnya tetapi tidak satupun yang dapat dipakai untuk semua keperluan. Ini berarti tidak bisa langsung mengganti jenis refrigerant yang lain pada mesin yang sama. Kita harus



memperhatikan terlebih dahulu pada karakteristik yang dimilikinya. Maka dari itu refrigerant dapat dikatakan tepat dan sesuai hanya untuk satu keperluan saja.

### 1.3. TUJUAN PENULISAN

- Untuk mengetahui penggunaan dari bermacam-macam jenis cairan pendingin (refrigerant) yang ada di pasaran sehubungan dengan jenis muatan yang perlu didinginkan.
- Untuk mengetahui karakteristik termodinamika dari beberapa macam cairan pendingin yang digunakan di kapal.

### 1.4. BATASAN MASALAH

Mengingat terbatasnya waktu yang tersedia untuk menyelesaikan tugas akhir ini maka penulisan ini kami batasi hanya :

- Berdasarkan pada literatur yang ada dan kenyataan-kenyataan yang ada dilapangan. (Indonesia)
- Bahan pendingin atau refrigerant yang digunakan sebagai bahan studi adalah refrigerant yang umum digunakan dilapangan khususnya di kapal.
- Hanya membahas refrigerant
- Tidak membahas perencanaan sistem
- Di dalam evaporator menggunakan sirkulasi secara natural.

### 1.5. METODOLOGI PEMBAHASAN

Metode yang dipakai dalam penulisan karya tulis ini adalah :

- Studi literatur

Sebagai referensi yang dipakai dalam mempelajari masalah yang ada dalam karya tulis ini.

- Studi lapangan

Studi ini dimaksudkan untuk mencari data-data yang ada dilapangan.



## BAB II

### PERALATAN PENDINGIN DI KAPAL

#### 2.1 TUJUAN PENDINGINAN

Pendinginan udara adalah proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban sesuai dengan yang disyaratkan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu. Selain itu untuk mengatur aliran udara dan menjaga kebersihannya.

Sistem penyegaran udara pada umumnya dibagi menjadi dua golongan utama, yaitu :

(1). Penyegaran udara untuk kenyamanan (air condition).

Yaitu menyegarkan udara dari ruangan untuk memberikan kenyamanan kerja bagi orang yang ada di dalamnya.

(2). Penyegaran udara untuk proses

Yaitu menyegarkan udara dari ruangan yang diperlukan untuk proses penyimpanan atau pengawetan bahan

#### 2.2. PRINSIP KERJA SISTEM PENDINGIN

Sistem pendinginan yang umum pada saat ini adalah menggunakan sistem kompresi uap. Prinsip kerja sistem pendingin adalah merupakan proses pemindahan panas dari suatu tempat ke tempat lain oleh suatu substansi yang dalam siklusnya mengalami perubahan fasa yang mana



substansi tersebut adalah refrigerant. Maka dapat dikatakan bahwa dalam refrigerasi dan pengkondisian udara merupakan terapan dari teori Perpindahan Kalor dan Termodinamika. Dalam sistem ini terjadi siklus sebagai berikut :



#### (1) Penguapan

Evaporator (penguap) yang dipakai berbentuk koil terbuat dari pipa logam. Tekanan cairan refrigerant yang diturunkan pada katup ekspansi didistribusikan secara merata ke dalam pipa oleh distributor refrigerant. Dalam hal tersebut refrigerant akan menguap dan menyerap kalor dari udara ruangan. Jadi cairan refrigerant diuapkan secara berangsur-angsur karena menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan, selama mengalir di dalam pipa dari koil evaporator. Selama proses penguapan itu, di dalam pipa akan terdapat campuran refrigerant dalam fasa cair dan gas. Dalam keadaan tersebut tekanan (tekanan penguapan) dan temperaturnya (temperatur penguapan) konstan. Oleh karena itu temperaturnya dapat dicari dengan mengukur tekanan refrigerant di dalam evaporator.

#### (2). Kompresi

Kompresor mengisap uap refrigerant dari ruang penampung uap. Di dalam penampung uap, tekanannya



diusahakan supaya tetap rendah. Di dalam kompresor, tekanan refrigerant dinaikkan sehingga memudahkan pencairannya kembali. Energi yang diperlukan untuk kompresi diberikan oleh motor listrik yang menggerakkan kompresor. Jadi dalam proses kompresi energi diberikan kepada uap refrigerant.

Pada waktu uap refrigerant diisap masuk ke dalam kompresor, temperaturnya masih rendah tetapi selama proses kompresi berlangsung temperaturnya naik. Jumlah refrigerant yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi tergantung pada jumlah uap yang diisap masuk ke dalam kompresor.

### (3). Pengembunan (Kondensasi)

Uap refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi pada akhir kompresi dapat dengan mudah mendinginkannya dengan air pendingin (atau dengan udara pendingin pada sistem pendinginan dengan udara) yang ada pada temperatur normal. Dengan kata lain, uap refrigerant menyerahkan panasnya (kalor laten pengembunan) kepada air pendingin (udara pendingin) di dalam kondensor sehingga mengembun dan menjadi air. Jadi karena air (udara) pendingin menyerap panas dari refrigerant, maka ia akan menjadi panas pada waktu keluar dari kondensor.

Selama refrigerant mengalami perubahan dari fasa



uap ke fasa cair dimana terdapat campuran refrigerant dalam fasa uap dan cair, tekanan (tekanan pengembunan) dan temperaturnya (temperatur pengembunan) konstan. Oleh karena itu temperaturnya dapat dicari dengan mengukur tekanannya.

Kalor yang dikeluarkan di dalam kondensor adalah jumlah kalor yang diperoleh dari udara yang ada di dalam evaporator (kapasitas pendinginan), dan kerja (energi) yang diberikan oleh kompresor kepada fluida kerja. Uap refrigerant menjadi cair sempurna di dalam kondensor kemudian dialirkan ke dalam pipa evaporator melalui katup ekspansi. Dalam hal ini temperatur refrigerant cair lebih rendah dari temperatur refrigerant cair jenuh pada tekanan kondensasinya. Temperatur tersebut menyatakan besarnya derajat pendinginan lanjut (degree of subcooling)

#### (4). Ekspansi

Untuk menurunkan tekanan dari refrigerant cair (tekanan tinggi) yang dicairkan di dalam kondensor, supaya dapat mudah menguap, maka dipergunakan alat yang dinamakan katup ekspansi atau pipa kapiler.

Setiap alat tersebut terakhir dirancang untuk suatu penurunan tekanan tertentu. Katu ekspansi yang biasa dipergunakan adalah katup termostatik yang dapat mengatur laju aliran refrigerant, yaitu agar derajat



superpanas uap di dalam evaporator dapat diusahakan konstan. Dalam unit penyebar udara yang kecil dipergunakan pipa kapiler sebagai pengganti katup ekspansi. Diameter dalam dan panjang dari pipa kapiler tersebut ditentukan berdasarkan besarnya perbedaan tekanan yang diinginkan, antara bagian yang bertekanan tinggi dan bagian yang bertekanan rendah dan jumlah refrigerant yang bersirkulasi.

Cairan refrigerant yang mengalir ke dalam evaporator, tekanannya turun dan menerima kalor penguapan dari udara, sehingga menguap secara berangsur-angsur. Selanjutnya proses siklus tersebut di atas berlangsung berulang-ulang.

### 2.3. PENGGUNAAN PERALATAN PENDINGIN DI KAPAL

- Untuk pengkondisian udara (AC)
- Untuk pemrosesan muatan di kapal
- Untuk cold storage

#### 2.3.1. Pengkondisian Udara (AC)

Kebanyakan unit pengkondisian udara digunakan untuk kenyamanan (Comfort Air Condition) yaitu untuk menciptakan kondisi udara yang nyaman bagi orang yang ada di dalam suatu ruangan. Sistem pendinginan di musim panas telah menjadi suatu kebutuhan pokok bagi kapal-kapal besar. Di dalam wilayah beriklim panas,



sistem pendinginan menciptakan suasana kerja yang lebih efektif dibandingkan dengan yang tidak menggunakan. Pada kapal-kapal besar biasanya digunakan sistem pengkondisian udara sentral. sistem tersebut mungkin terdiri dari satu atau lebih mesin pendingin. Ruang yang dikondisikan biasanya bertemperatur antara  $20^{\circ}\text{C}$  -  $25^{\circ}\text{C}$ . Untuk ruangan dimana terdapat peralatan elektronik, misalnya komputer, alat-alat kontrol dan sebagainya; keberadaan sistem pengkondisian udara sangat diperlukan karena temperatur, kelembaban dan kebersihan udara ruangan bisa dijaga dengan baik. Sejumlah komponen elektronik akan berubah karakteristiknya dari keadaan normal jika suhunya terlalu panas. Komponen elektronik di dalamnya akan berfungsi lebih baik pada suhu yang relatif lebih rendah, tetapi perlu juga dikompromikan dengan suhu nyaman terendah yang sesuai bagi orang yang bekerja di ruangan tersebut.

### 2.3.2. Pemrosesan muatan di kapal

Muatan kapal yang perlu proses pendinginan adalah barang-barang yang mudah busuk dan muatan yang berupa gas seperti halnya gas alam cair (LNG).

Tujuan mendinginkan bahan makanan adalah agar makanan dapat disimpan lebih lama dan tidak busuk. Sedangkan untuk bahan kimia yang berupa gas adalah



untuk memberikan kemudahan dalam pengangkutan di kapal.

(1) Penyimpanan bahan makanan

Pembusukan yang terjadi pada bahan makanan adalah akibat adanya jasad renik (mikroba) yang ada dalam bahan makanan.

Pada suhu udara ruang dalam keadaan lembab, jasad renik dapat berkembang biak dengan cepat sekali. Telah diselidiki bahwa pada suhu  $10^{\circ}\text{C}$  adalah batas suhu yang paling baik dimana jasad renik sukar berkembang biak, sedangkan bahan makanan masih dapat disimpan dalam keadaan baik. Pada suhu dibawah  $0^{\circ}\text{C}$  zat cair dalam sayuran dan buah-buahan akan membeku dan mengembang. Perubahan wujud dan volume ini dapat merusak sayuran dan buah buahan tersebut, maka dari itu harus dihindarkan.

Bahan makanan yang mengandung banyak air terutama buah-buahan dan sayuran harus disimpan di atas titik bekunya yaitu antara  $3^{\circ}\text{C}$  -  $10^{\circ}\text{C}$ . Suhu tersebut harus dipertahankan di dalam ruang penyimpanan.

Menyimpan dengan didinginkan tidak akan membuat barang yang disimpan menjadi lebih baik mutu dan keadaannya, juga tidak untuk membuat steril tetapi hanya mengusahakan agar bahan makanan tidak cepat membusuk dan menjadi rusak.



## (2) Kemudahan dalam pengangkutan gas

Pengangkutan gas seperti LNG akhir-akhir ini banyak menggunakan jasa angkutan laut. Hal ini karena fasilitas untuk mengangkut gas dalam jumlah besar cukup mudah. Perkembangan transportasi laut semacam ini sudah dikembangkan sejak tahun 1950 yaitu dengan hadirnya kapal pengangkut LNG dan LPG jenis refrigerated.

Dalam proses pengangkutan, gas alam yang diperoleh disalurkan ke dalam kilang pengolahan. Gas tersebut diproses dengan tekanan di bawah tekanan atmosfer dan dengan temperatur yang sangat rendah sehingga gas dapat berubah bentuknya menjadi cair. Hal ini dilakukan untuk memberikan kemudahan dalam pengangkutan agar berat gas yang diangkut menjadi lebih banyak bila dalam keadaan cair daripada keadaan gas pada volume yang sama.

Seperti telah diketahui bahwa gas alam dalam bentuk gas mempunyai tekanan yang sangat tinggi sehingga sangat berbahaya dan membutuhkan biaya yang sangat besar untuk menyediakan tempat penyimpanan maupun pada saat pengiriman, sebab dibutuhkan suatu konstruksi khusus yang tahan terhadap tekanan yang sangat tinggi sekitar 200 atmosfer. Untuk mengatasi hal ini maka gas alam tersebut diturunkan tekanannya hingga mencapai 1 atmosfer dengan temperatur  $-162^{\circ}\text{C}$ . Dalam keadaan yang demikian akan didapat suatu keuntungan



yaitu tidak membutuhkan konstruksi tangki bertekanan tinggi dan volume dalam keadaan cair mengecil menjadi 1/500 kali daripada dalam keadaan gas sehingga gas gas yang bisa diangkut menjadi 500 kali.

### 3. Pemrosesan ikan pada kapal ikan

Peralatan mesin pendingin pada kapal penangkap ikan sangat diperlukan keberadaannya. Hal ini berguna untuk mengolah ikan yang baru ditangkap agar tetap dalam keadaan baik hingga sampai ke pasaran. Baik tidaknya mutu daging ikan sangat ditentukan oleh temperatur pendinginan saat penyimpanannya. Dengan adanya proses pendinginan maka aktifitas bakteri pembusuk yang merusak daging ikan dapat dicegah. Sesuai dengan fungsinya, pada kapal ikan (tuna) ada tiga macam evaporator yaitu :

#### a. Preparasi

Pada ruang ini ikan yang sudah selesai dibersihkan diletakkan menggantung atau diletakkan di lantai ruangan jika tempatnya tidak mencukupi untuk menjalani proses pengeringan (gazing). Pada kapal penangkap ikan tuna , ruangan dipertahankan pada temperatur  $-30^{\circ}\text{C}$ .

#### b. Freezer

Di dalam ruangan ini ikan didinginkan dengan cepat



(quick freezing) diatas sebuah koil evaporator yang berupa rak-rak. Diatas koil terpasang suatu plat tipis berfungsi sebagai alas ikan. Untuk mempercepat proses pembekuan, sistem dibantu dengan blower yang berguna untuk meng sirkulasi udara dingin di dalamnya supaya merata. Biasanya temperatur ruangan untuk freezer dipertahankan pada  $-35^{\circ}\text{C}$ .

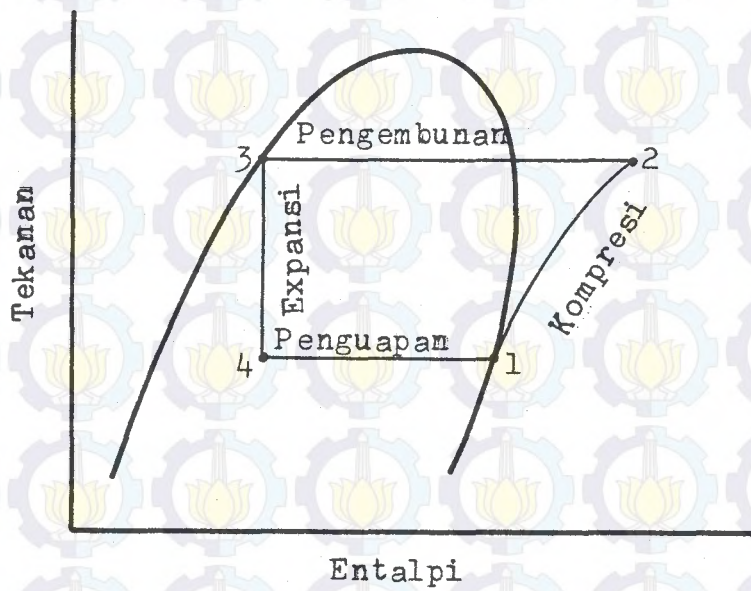
c. Fish hold

Pada ruangan ini ikan menjalani proses pembekuan lebih lanjut. Proses ini berlangsung selama dalam pelayaran. Temperatur ruangan dipertahankan pada  $-30^{\circ}\text{C}$ .

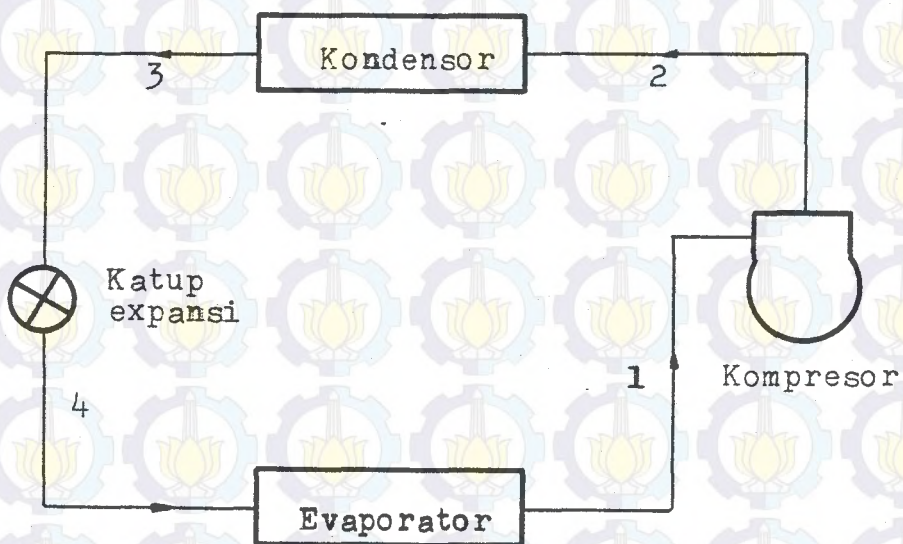
4. Pengangkutan daging

Proses pendinginan ini adalah untuk mempertahankan suhu ruangan agar selalu dalam keadaan stabil pada temperatur tertentu. Pada daging perlu diadakan pendinginan cepat karena untuk menghindari terjadinya es pada air di bagian luar sel sedangkan pada bagian dalam belum menjadi es. Hal ini akan menyebabkan air didalam sel tertarik keluar dan protein mengalami kerusakan. Bila dicairkan lagi, air tidak diserap sehingga menyebabkan banyak terjadi letusan (drip) yang banyak mengandung zat-zat makanan. Temperatur ruangan dipertahankan pada temperatur  $-40^{\circ}\text{C}$ .





Gmb : Daur kompresi uap standar



Gmb : Diagram aliran

## BAB III

## KARAKTERISTIK REFRIGERANT

## 3.1. KARAKTERISTIK THERMODINAMIKA

Adalah bagian yang penting dalam menganalisa sistem termal yang bersangkutan. Karakteristik adalah suatu sifat atau ciri dari bahan yang dapat dijabari secara kuantitatif seperti suhu, tekanan dan rapat massa.

Kerja dan perpindahan kalor dapat dijabari dalam hal perubahan sifat-sifatnya, tetapi keduanya bukan merupakan sifat itu sendiri. Suatu sifat adalah segala sesuatu yang dimiliki oleh bahan. Kerja dan perpindahan kalor adalah hal yang dilakukan terhadap suatu sistem untuk mengubah sifat-sifatnya. Kerja dan kalor dapat diukur hanya pada pembatas sistem dan jumlah energi yang dipindahkan, tergantung pada cara terjadinya perubahan. Oleh karena termodinamika berkisar pada energi, maka seluruh sifat termodinamika berkaitan dengan energi. Keadaan atau kondisi termodinamika suatu sistem didefinisikan berdasarkan sifat-sifatnya yang antara lain terdiri dari ; tekanan, temperatur, kalor spesifik atau kalor jenis, enthalpi, entropi, kalor laten.

## 3.2. KARAKTERISTIK KIMIA DAN FISIKA

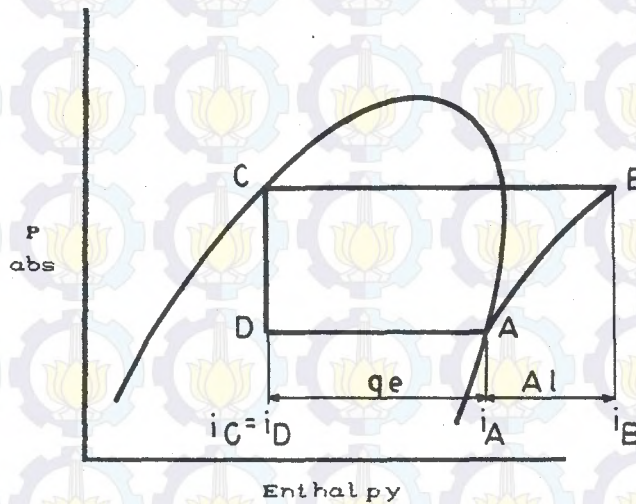


Adalah karakteristik refrigerant yang penting ditinjau karena akan menyangkut keselamatan bagi lingkungan maupun peralatan. Sebab ada suatu jenis refrigerant yang mempunyai sifat mudah terbakar ataupun beracun tergantung pada prosentase kandungan volumenya di udara.

Bagaimana pencampuran refrigerant dan minyak di dalam sistem adalah merupakan faktor pemilihan. Diharapkan refrigerant yang digunakan mudah bercampur dengan baik terhadap minyak pelumas, sehingga bila ada minyak pelumas yang tertinggal atau terbawa ke evaporator bisa kembali lagi ke kompresor bersama-sama dengan refrigerant.

Sifat korosi terhadap material harus menjadi perhatian pula dalam pemilihan. Sebab ada beberapa jenis refrigerant yang cenderung merusak terhadap paduan aluminium atau tembaga. Bahkan ada jenis refrigerant yang dapat merusak karet dan minyak pelumas. Untuk itu harus dipilih refrigerant yang sesuai dengan material sistem.

## 3.3. DASAR TEORI



Gb. Diagram Mollier

## 1. Siklus refrigerasi

AB --- Kompresi adiabatik. Proses kompresi di dalam kompresor dapat dianggap adiabatik reversibel (isentropik) sehingga terjadi pada garis entropi konstan. Kerja yang dilakukan oleh kompresor adalah sama dengan kenaikan entalpi refrigerant antara seksi keluar dan seksi masuk kompresor.

BC --- Proses tekanan konstan yang terjadi pada pengembunan di dalam kondensor. Penurunan entalpi yang terjadi adalah sama dengan kalor yang dilepas oleh refrigerant.

CD --- Ekspansi trothling yaitu penurunan tekanan pada entalpi konstan yang terjadi pada waktu refrigerant melalui katup ekspansi. Jadi



entalpi refrigerant sebelum dan sesudah masuk sama.

DA --- Proses tekanan konstan yang terjadi pada penguapan refrigerant dalam evaporator. Kenaikan entalpi adalah sama dengan jumlah kalor yang diserap oleh refrigerant dari dalam evaporator.

2. Kalor yang diserap di dalam evaporator (efek refrigerasi).

$$q_e = i_A - i_D \text{ (kcal/kg)}$$

dimana :

$i_A$  = entalpi refrigerant pada saat masuk evaporator, kcal/kg

$i_D$  = entalpi refrigerant pada saat keluar evaporator, kcal/kg

3. Kerja kompresi adalah kenaikan entalpi yang terjadi selama proses kompresi.

$$A.1 = i_B - i_A$$

dimana :

$i_B$  = entalpi refrigerant pada saat keluar dari kompresor, kcal/kg

4. Jumlah refrigerant yang dimasukkan ke dalam evaporator untuk memperoleh kapasitas refrigerasi

yang diinginkan.

$$G = \frac{Q}{q_e} \quad (\text{kg/jam})$$

dimana :

G = jumlah refrigerant yang bersirkulasi

Q = kapasitas refrigerasi

(1 ton refrigerasi = 3320 kcal/jam)

5. Koefisien prestasi. Merupakan efisiensi dari siklus refrigerasi.

$$\begin{aligned} \text{KP} &= \frac{\text{Kapasitas refrigerasi}}{\text{Kalor ekivalent kerja yang diperlukan}} \\ &= \frac{\text{Kapasitas refrigerasi}}{\text{Daya poros penggerak kompresor; Kw x 860}} \end{aligned}$$

6. Tekanan penguapan. Adalah merupakan tekanan yang bekerja pada permukaan refrigerant yang menyebabkan refrigerant menguap.

7. Tekanan pengembunan. Adalah merupakan tekanan yang menyebabkan gas mulai mengembun.

8. Kalor laten adalah jumlah panas yang diserap atau dilepaskan oleh suatu benda yang mengakibatkan perubahan perubahan fisik benda tersebut.

9. Kalor sensibel adalah jumlah panas yang diserap atau dilepaskan oleh benda sehingga menyebabkan perubahan



temperatur benda tersebut.

### 3.4. REFRIGERANT

Adalah fluida kerja dalam sistem refrigerasi. Fluida ini mudah sekali berubah fasa dari keadaan cair ke keadaan uap atau sebaliknya. Perubahan ini disertai pula oleh perubahan kandungan panasnya. Oleh karena itu dalam sistem refrigerasi fluida tersebut berfungsi untuk memindahkan panas dari suatu ruangan ke tempat lain dengan jalan menyerap panas yang ada dalam ruangan tersebut. Persyaratan refrigerant untuk unit refrigerasi adalah sebagai berikut :

*(1). Tekanan penguapannya harus cukup tinggi*

Sebaiknya refrigerant memiliki temperatur penguapan pada tekanan yang lebih tinggi, sehingga dapat dihindari adanya kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator, dan turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi.

*(2). Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi*

Apabila tekanan pengembunannya rendah, maka perbandingan kompresinya menjadi lebih rendah sehingga penurunan prestasi kompresor dapat dihindarkan. Selain itu dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin dapat bekerja lebih aman karena kemungkinan terjadinya



kebocoran, kerusakan, ledakan dan sebagainya menjadi lebih kecil.

*(3). Kalor laten penguapan harus tinggi*

Refrigerant yang memiliki kalor laten penguapan yang tinggi lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigerasi yang sama, jumlah refrigerant yang bersirkulasi menjadi lebih kecil.

*(4). Volume spesifik (terutama dalam fasa gas) yang cukup kecil*

Refrigerant dengan kalor laten penguapan yang besar dan volume spesifik gas yang kecil (berat jenis yang besar) akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang lebih kecil. Dengan demikian untuk kapasitas refrigerasi yang sama, ukuran untuk refrigerasi yang bersangkutan menjadi lebih kecil.

Namun untuk unit pendingin air sentrifugal yang kecil, lebih dikehendaki refrigerant dengan volume spesifik yang agak besar. Hal tersebut diperlukan untuk menaikkan jumlah gas yang bersirkulasi, sehingga dapat mencegah menurunnya efisiensi kompresor sentrifugal.

*(5). Koefisien prestasinya harus tinggi*

Dari segi karakteristik termodinamika dari



refrigerant, koefisien prestasinya merupakan parameter yang terpenting untuk menentukan biaya operasi.

(6). *Konduktivitas termal yang tinggi*

Konduktivitas termal sangat penting untuk menentukan karakteristik perpindahan kalor.

(7). *Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun gas*

Dengan turunnya tahanan aliran refrigerant dalam pipa, kerugian tekanannya akan berkurang.

(8). *Konstanta dielektrika dari refrigerant yang kecil,*

*tahanan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik*

Sifat-sifat tersebut dibawah ini sangat penting terutama untuk refrigerant yang akan dipergunakan pada kompresor hermetik.

(9). *Refrigerant hendaknya stabil dan tidak bereaksi*

*dengan material yang dipakai, jadi juga tidak menyebabkan korosi*

(10) *Refrigerant tidak boleh beracun dan berbau merangsang*

(11) *Refrigerant tidak boleh mudah terbakar dan mudah meledak*

(12) *Refrigerant harus mudah dideteksi jika terjadi*

*kebocoran*

*(13) Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh*

### 3.5. NOMOR IDENTITAS REFRIGERANT

Nomor digunakan sebagai identitas refrigerant dalam suatu industri refrigerasi. Sistem penomoran akan didahului dengan huruf (R) yang berarti refrigerant. Sistem identitas dengan penomoran tersebut telah distandartkan oleh American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASRHAЕ).

### 3.6. KLASIFIKASI REFRIGERANT


Menurut suatu organisasi yang bernama Nasional Refrigeration Safety Code, seluruh refrigerant dikelompokkan menjadi tiga kelompok; yaitu :

*Kelompok 1 adalah refrigerant yang paling aman*

R 744	Carbon Dioxide	R 22	
R 11		R 30	Carrene 1
R 12		R 113	
R 13		R 114	
R 13B1	Kulene 131	R 502	
R 14		R 503	
R 21		R 504	

*Kelompok 2 adalah refrigerant beracun dan agak mudah terbakar*



- 
- R 717 Ammonia  
R 1130 Dichloroethylene  
R 160 Ethyl Chloride  
R 40 Methyl Chloride  
R 611 Methyl Formate  
R 764 Sulphur Dioxide

*Kelompok 3 adalah refrigerant yang mudah terbakar*

- R 600 Butane  
R 170 Ethane  
R 601 Iso Butane  
R 290 Propane

### 3.7. REFRIGERANT YANG ADA DI INDONESIA

Dalam merencanakan suatu sistem pengkondisian udara dan refrigerasi, kita harus memperhitungkan pula keberadaan bahan pendingin di pasaran . Sehingga apabila ada perbaikan dapat dengan mudah untuk menyediakan bahan pendinginnya. Adapun bahan pendingin yang umum adalah :

- (1). R 717 - AMONIA (  $\text{NH}_3$  )

Amonia mempunyai titik didih pada temperatur  $-28^{\circ}\text{F}$  ( $-33,3^{\circ}\text{C}$ ) pada tekanan 1 atmosfer. Tekanan penguapannya sebesar 19,6 psig pada temperatur  $5^{\circ}\text{F}$  ( $-15^{\circ}\text{C}$ ) dan



tekanan kondensasinya sebesar 154,5 psig pada temperatur  $86^{\circ}\text{F}$  ( $30^{\circ}\text{C}$ ). Kalor laten uap pada titik didihnya adalah 589,3 Btu/lb. Kalor laten tersebut sangat besar dan merupakan yang terbesar dari refrigerant yang lain.

Amonia walaupun telah sejak lama dipakai, masih merupakan satu-satunya bahan pendingin selain dari golongan fluorocarbon yang tetap dipakai hingga saat ini. terdiri dari sebuah unsur nitrogen dan tiga unsur hidrogen. Harganya murah, efisiensinya tinggi, mempunyai kalor laten uap yang terbesar diantara jenis refrigerant yang lain.

Amonia dalam keadaan biasa berwujud gas yang tidak berwarna, tetapi mudah terbakar, dapat meledak dan sangat beracun. R 717 dapat mudah terbakar dan meledak jika bercampur dengan udara dalam perbandingan tertentu antara 13% - 27% dari volume, dan akan lebih berbahaya lagi jika bercampur dengan oksigen. Amonia sangat beracun dan mempunyai bau yang sangat merangsang hidung dan tenggorokan. Amonia tidak dibenarkan jika dipakai untuk pengkondisian udara (AC) pada tempat-tempat umum yang banyak dikunjungi orang. Jika dalam hal ini kita harus memakai amonia sebagai bahan pendingin maka kita harus memakai amonia secara tidak langsung dengan melalui air atau air garam yang lebih dahulu didinginkan. Ruangan untuk kompresor harus dibuat



husus dan terpisah. Amonia yang murni tidak korosif terhadap logam yang banyak dipakai pada sistem refrigerasi. Amonia bercampur dengan air akan menjadi korosif terhadap logam non fero, terutama tembaga, kuningan, seng dan timah. Janganlah memakai logam-logam tersebut pada sistem yang menggunakan amonia. Amonia walaupun banyak mengandung air, tetapi tidak bereaksi terhadap besi dan baja.

Amonia lebih ringan daripada minyak pelumas kompresor, juga tidak dapat larut ke dalam minyak pelumas tersebut, maka tidak akan menyerap minyak dari tempat minyak kompresor. Karena sukar mengembalikan minyak pelumas dari evaporator, maka untuk menghindarkan minyak pelumas ikut mengalir ke evaporator, kita harus menambahkan pemisah minyak (oil separator) pada saluran tekan dari kompresor.

Kekuatan dielektrik dari amonia rendah, tidak dapat dipakai dengan kompresor hermetik yang berhubungan langsung dengan alat listrik. R 717 dapat mudah larut dalam air. Pada temperatur  $0^{\circ}\text{C}$ , satu volume air dapat menyerap 1,148 volume amonia.

Tabung amonia dan sistem yang memakai amonia harus dibuat dari tabung besi atau baja yang kuat. Kondensornya harus didinginkan dengan air. Gas amonia lebih ringan dari udara. Jika terjadi kebocoran amonia, kita lebih aman merebahkan diri di lantai daripada



berdiri. Kebocoran pada sistem dengan amonia dapat diketahui dari bahunya yang merangsang hidung dan tengorokan. Kebocoran yang kecil dapat dicari dengan batang belerang (sulfur stick). Jika ada gas amonia yang bocor, belerang dapat mengeluarkan asap putih yang tebal. Kebocoran dapat juga dicari dengan memakai sir sabun yang kental, dioleskan pada sekeliling sambungan pipa. Jika ada gas amonia yang bocor akan terjadi gelembung- gelembung dari air sabun tersebut.

(2). R 744 - CARBON DIOXIDE (  $\text{CO}_2$  )

Pada tekanan 1 atmosfer titik didihnya adalah  $-109,9^\circ\text{F}$  (  $-79^\circ\text{F}$  ) dan titik bekunya adalah  $-69,9^\circ\text{F}$  (  $-57^\circ\text{C}$  ). Pada temperatur tersebut dan tekanan 1 atmosfer,  $\text{CO}_2$  sudah berwujud padat. Tekanan penguapannya sebesar 317,5 psig pada temperatur  $5^\circ\text{F}$  dan tekanan kondensasinya sebesar 1031 psig pada temperatur  $86^\circ\text{F}$ . Tekanan ini sangat tinggi, maka harus menggunakan kompresor yang kuat, begitu juga pipa-pipanya harus kuat pula. Kalor laten uap pada temperatur  $5^\circ\text{F}$  sebesar 116 Btu/lb.

R 744 merupakan bahan pendingin yang mula-mula di pakai pada tahun 1885 dengan menggunakan kompresor jenis torak untuk keperluan refrigerasi.  $\text{CO}_2$  tidak berwarna , tidak berbau, tidak beracun, tidak dapat terbakar atau meledak dan tidak korosif. Karena



sifatnya yang aman ini, maka dahulu R 744 banyak dipakai di kapal laut. Juga untuk air conditioning di hotel, rumah sakit dan tempat-tempat umum lainnya.

$\text{CO}_2$  lebih berat daripada udara, berbeda dengan amonia yang lebih ringan daripada udara. Temperatur kritisnya adalah  $87.8^\circ\text{F}$  ( $31^\circ\text{C}$ ), maka kondensornya tidak dapat didinginkan dengan udara, tetapi harus dengan air yang cukup dingin. Kerugian lain dari  $\text{CO}_2$  adalah tekanan kondensasinya yang sangat tinggi dan daya kuda yang diperlukan tiap ton refrigerasi hampir dua kali yang diperlukan oleh bahan pendingin yang lain. Pada saat ini  $\text{CO}_2$  sudah jarang dipakai lagi, hanya masih dapat kita temukan pada mesin-mesin yang tua. Sekarang  $\text{CO}_2$  hanya dipakai untuk suhu yang sangat rendah, terutama untuk pembuatan  $\text{CO}_2$  padat (dry ice).

R 744 tidak dapat bercampur dengan minyak pelumas kompresor, maka tidak dapat mengambil minyak dari tempat kompresor. R 744 juga seperti amonia yang lebih ringan daripada minyak pelumas kompresor. Kebocoran dapat dicari dengan menggunakan air sabun.

(3). R 11 - TRICHLOROMONOFUOROMETHANE ( $\text{CCl}_3\text{F}$ )

Titik didih  $74.9^\circ\text{F}$  ( $23.8^\circ\text{C}$ ) pada tekanan 1 atmosfir. Titik didih ini tinggi, maka tidak dapat dipakai untuk mendinginkan ruangan di bawah  $23.8^\circ\text{C}$ . Tekanan penguapannya sebesar 24 inch Hg vakum pada



temperatur  $5^{\circ}\text{F}$  dan tekanan kondensasinya hanya sebesar 3,5 psig pada temperatur  $86^{\circ}\text{F}$ . Tekanan kondensasi ini rendah sekali, maka R 11 hanya dapat dipakai untuk kompresor sentrifugal. Kalor laten uap 78,3 Btu/lb pada titik didihnya.

R 11 juga disebut Carrene 2. Telah dipakai sejak tahun 1932. R 11 seperti golongan fluorocarbon yang lain, sangat stabil, tidak beracun, tidak korosif, tidak dapat terbakar atau meledak. R 11 dapat melarutkan karet alam, tetapi tidak bereaksi dengan karet sintetis yang dipakai sebagai gasket.

R 11 juga dipakai sebagai bahan peniup (blowing agent) dalam pembuatan polystyrene, polyurethane yang keras maupun yang lunak. R 11 adalah bahan isolator yang baik dan sifat isolator ini masih ada pada busa dari polyurethane, maka sekarang banyak lemari es yang memakai isolasi dari polyurethane tersebut.

R 11 mempunyai kekuatan dielektrik yang besar. R 11 juga sering dipakai sebagai bahan pembersih (cleaning solvent) atau flushing agent. Untuk membersihkan bagian dalam dari sistem lemari es atau air condition unit yang motornya terbakar, atau di dalam sistem yang banyak airnya dan lain-lain.

R 11 untuk aerosol sering dicampur dengan R 12 untuk menaikkan tekanan R 11 tersebut. Kebocoran dapat di cari dengan halide leak detector atau elektronik



leak detector.

(4). R 12 - DICHLORO DIFLUORO METHANE (  $\text{CCL}_2\text{F}_2$  )

Titik didihnya  $-21,6^\circ\text{F}$  ( $-29,8^\circ\text{C}$ ) pada tekanan 1 atmosfir. Tekanan penguapannya sebesar 11,8 psig pada temperatur  $5^\circ\text{F}$  ( $15^\circ\text{C}$ ) dan tekanan kondensasinya 93,3 psig pada temperatur  $86^\circ\text{F}$  ( $30^\circ\text{C}$ ). Kalor laten uap pada titik didihnya sebesar 71,74 Btu/lb.

R 12 adalah bahan pendingin yang paling banyak dipakai untuk lemari es, baik dengan kompresor torak maupun rotari. Telah diselidiki dan dikembangkan di USA sejak tahun 1931, dan pada tahun 1940 telah hampir dipakai pada semua lemari es hingga saat ini.

Bahan pendingin R 12 sangat aman, tidak korosif, tidak beracun, tidak dapat terbakar atau meledak dalam bentuk gas maupun cair, juga bila bercampur dengan udara. R 12 tidak berwarna, bahkan transparan, tidak berbau dan tidak ada rasanya pada konsentrasi dibawah 20% dari volume. R 12 tidak berbahaya bagi hewan maupun tumbuh-tumbuhan dan tidak mempengaruhi bau, rasa atau warna dari air atau makanan yang disimpan dalam lemari es.

R 12 dapat dipakai untuk suhu tinggi, sedang dan rendah. Juga dapat dipakai untuk ketiga macam kompresor : kompresor torak dari 1/12 - 800 DK, kompresor rotari yang kecil dan kompresor sentrifugal untuk air



condition yang besar.

R 12 akan tetap stabil pada suhu kerja rendah maupun pada suhu kerja tinggi, tidak bereaksi dan tidak korosif terhadap logam yang banyak dipakai pada lemari es, seperti besi tuang, baja, aluminium, tembaga, kuningan, seng, timah, timah solder. Jika bercampur dengan air pada suhu tinggi dapat menjadi korosif karena ada asam halogen yang terbentuk. Apabila kita memakai sistem dengan R 12, jangan lah sampai ada air yang tertinggal di dalam sistem.

R 12 sampai saat ini adalah bahan pendingin yang terbanyak dipakai walaupun dalam beberapa hal keunggulan R 12 telah dikalahkan oleh R 22

Keunggulan R 12 terhadap R 22 :

1. Tekanan kerja dan suhu kerja lebih rendah.
2. Bercampur dengan minyak pelumas lebih baik dalam semua keadaan.
3. Harganya lebih murah.

R 12 tidak dapat melarutkan air , tetapi dapat melarutkan hidrokarbon, alkohol, ether, ester dan ketone, maka R 12 dapat dipakai sebagai bahan pembersih untuk bahan tersebut. R 12 mempunyai kemampuan melarutkan yang sangat besar, maka kita harus hati-hati jika memakai bahan-bahan untuk packing, gasket, vernis



dan beberapa macam bahan isolasi di dalam kompresor hermetik. R 12 terhadap logam-logam yang mengandung lebih dari 2% magnesium harus dihindarkan. R 12 merusak karet alam, tetapi tidak bereaksi terhadap karet sintetis seperti karet neoprene dan chloropene.

R 12 yang terbanyak dipakai sebagai penyemprot (propellant) yang bukan untuk makanan. karena tekanan R 12 sangat tinggi maka umumnya dicampur dengan R 11 untuk menurunkan tekanannya.

Salah satu sifat yang khusus dari R 12 yaitu pada temperatur  $20^{\circ}\text{F}$  -  $80^{\circ}\text{F}$  mempunyai suhu dalam derajat Fahrenheit dan tekanan dalam psig yang hampir sama besarnya. Dapat dilihat pada daftar temperatur dan tekanan bahan pendingin R 12. Misalnya R 12 pada temperatur  $70^{\circ}\text{F}$  mempunyai tekanan sebesar 70,1 psig

R 12 mempunyai kekuatan dielektrik yang besar, hampir sama dengan R 113, maka dapat dipakai untuk kompresor hermetik tanpa menimbulkan bahaya atau kesukaran.

Kebalikan R 12 yang dapat bercampur dengan minyak pelumas dalam semua keadaan tidak saja mempermudah mengalirkan minyak pelumas kembali ke kompresor, tetapi juga dapat menaikkan efisiensi dan kapasitas dari sistem. Evaporator dan kondensor akan bebas dari minyak pelumas yang dapat mengurangi kemampuan perpindahan kalor dari kedua alat tersebut. R 12 masih dapat





bercampur dengan minyak pelumas sampai temperatur  $-90^{\circ}\text{F}$  ( $-68^{\circ}\text{C}$ ). Dibawah temperatur tersebut minyak pelumas akan mulai memisah. Minyak pelumas lebih ringan daripada bahan pendingin, maka minyak akan mengumpul pada bagian atas dari bahan pendingin cair tersebut.

R 12 apabila bercampur dengan api yang sedang terbakar atau pemanas listrik yang sedang bekerja, dapat membentuk suatu gas yang sangat beracun. Kebocoran dapat dicari dengan halide leak detector, electronic leak detector, air sabun dan lain-lain.

(5). R 13 - CHLORO TRIFLUORO METHANE (  $\text{CClF}_3$  )

Titik didihnya  $-114,6^{\circ}\text{F}$  ( $-81,4^{\circ}\text{C}$ ) pada tekanan 1 atmosfir. Tekanan penguapannya sebesar 177,1 psig pada temperatur  $5^{\circ}\text{F}$  dan tekanan kondensasinya 546,6 psig pada temperatur  $84^{\circ}\text{F}$ . Temperatur kritisnya  $84^{\circ}\text{F}$  ( $28,8^{\circ}\text{C}$ ) pada tekanan 1 atmosfir, maka temperatur kondensor tidak boleh melebihi  $29^{\circ}\text{C}$ . Kalor laten uap adalah 63,85 Btu/lb pada titik didihnya.

R 13 mulai dipakai pada tahun 1945 dan dikembangkan untuk pemakaian temperatur yang sangat rendah sampai  $-100^{\circ}\text{C}$ , biasanya pada tingkat yang terendah dari dua atau tiga tingkat sistem cascade dari 1/2 sampai 100 DK.

R 13 dipakai untuk menggantikan R 22 atau R 502 pada pemakaian temperatur yang sangat rendah. R 13



dipakai dengan kompresor torak, biasanya dalam sistem cascade yang kondensornya didinginkan oleh sistem lain dengan R 12, R 22 atau R 502.

Pemakaian R 13 memerlukan pengawasan yang sangat cermat, karena pada temperatur rendah tegangan penyusutan dari logam yang dipakai di evaporator sangat besar. Pelumasan dari kompresor juga harus diperhatikan karena R 13 tidak dapat bercampur dengan minyak pelumas kompresor. R 13 selalu dipakai untuk temperatur rendah, maka minyak pelumas yang ikut terbawa ke kompresor akan memisah. Minyak pelumas tersebut sukar sekali dikembalikan ke kompresor. Kita harus memakai oil separator untuk mencegah minyak mengalir ke evaporator.

R 13 adalah bahan pendingin yang aman. Kebocoran dapat dicari dengan halide leak detector, electronic leak detector dan lain-lain.

(6). R 22 - CHLORO DIFLUORO METHANE (  $\text{CHClF}_2$  )

Titik didihnya  $-41,4^{\circ}\text{F}$  ( $-40,8^{\circ}\text{C}$ ) pada tekanan 1 atmosfir. Tekanan penguapannya 28,3 psig pada temperatur  $5^{\circ}\text{F}$  dan tekanan kondensasinya 158,2 psig pada temperatur  $86^{\circ}\text{F}$ . Kalor laten uap adalah 100,6 Btu/lb pada titik didihnya.

Mula-mula dikenalkan pada tahun 1936 dan dikembangkan untuk pemakaian pada temperatur rendah, lalu kemudian banyak dipakai pada packaged air





conditioner. R 22 mempunyai tekanan dan suhu kerja yang lebih tinggi daripada R 12, maka jika memakai kondensor dengan pendingin udara ukurannya harus disesuaikan jangan terlalu kecil.

Untuk kapasitas yang sama R 22 dibandingkan R 12 memerlukan pergerakan torak (piston displacement) yang lebih kecil, maka bentuk kompresor juga kecil sehingga dapat ditempatkan dalam ruang yang terbatas. Ini adalah keuntungan R 22, maka sangat sesuai untuk dipakai pada package room air conditioner.

Keuntungan R 22 terhadap R 12 :

1. Untuk pergerakan torak yang sama, kapasitasnya 60% lebih besar.
2. Untuk kapasitas torak yang sama, bentuk kompresor lebih kecil. Pipa-pipa yang dipakai juga lebih kecil ukurannya.
3. Pada saat temperatur di evaporator antara  $-30^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $40^{\circ}\text{C}$ , tekanan R 22 lebih dari 1 atmosfir, sedangkan tekanan R 12 kurang dari 1 atmosfir.

R 22 tidak korosif terhadap logam yang banyak dipakai pada sistem refrigerasi dan air conditioning seperti besi, tembaga, aluminium, kuningan, baja tak berkarat, las perak, timah solder, babit dan lain-lain.



Minyak pelumas dengan R 22 pada bagian tekanan tinggi dapat bercampur dengan baik, tetapi pada bagian tekanan rendah, terutama di evaporator minyak akan memisah. Temperatur dimana minyak pelumas memisah tergantung dari macam minyak pelumas yang dipakai dan jumlah minyak pelumas yang bercampur dengan R 22. Minyak pelumas mulai memisah pada temperatur  $16^{\circ}\text{F}$  ( $-8,9^{\circ}\text{C}$ ). Pada pemakaian suhu rendah, harus ditambahkan pemisah minyak (oil separator) untuk mengembalikan minyak pelumas ke kompresor. Pada evaporator yang direncanakan dengan baik, tidak akan terjadi kesukaran untuk mengembalikan minyak pelumas dari evaporator ke kompresor.

R 22 mempunyai kemampuan menyerap air tiga kali lebih besar dari pada R 12. Jarang sekali terjadi pembekuan air di evaporator pada sistem yang memakai R 22. Hal ini sebenarnya merupakan keuntungan, karena di dalam sistem harus bersih dari uap air dan air. Kebocoran dapat dicari dengan halide leak detector, air sabun dan lain-lain

#### (7). R 113 - TRICHLORO TRIFLUORO ETHANE

Titik didihnya  $117,6^{\circ}\text{F}$  ( $47,6^{\circ}\text{C}$ ) pada tekanan 1 atmosfir. Tekanan penguapannya sebesar 27,9 inch Hg vakum pada temperatur  $5^{\circ}\text{F}$  dan tekanan kondensasinya sebesar 13,9 inch Hg vakum pada temperatur  $86^{\circ}\text{F}$ . Kedua



tekanan tersebut sangat rendah dan masih dalam keadaan vakum. Kalor laten uap 63,12 Btu/lb pada titik didihnya.

Karena tekanan kerjanya yang sangat rendah dan pergerakan torak yang besar, maka R 113 hanya dapat dipakai dengan kompresor sentrifugal sampai empat tingkat atau lebih, terutama pada sistem air condition yang tidak terlalu besar.

R 113 mempunyai kekuatan dielektrik yang besar, sama seperti R 11. Sering kali dipakai sebagai bahan pembersih (cleaning solvent). R 113 yang dicampur dengan lain bahan pembersih, seperti alkohol, acetone, atau methylene chloride dinamakan Freon TF untuk tujuan pembersihan. Freon TF dapat untuk membersihkan minyak, gemuk dan lain-lain kotoran pada benda, tanpa membuat bahaya pada bagian logam atau plastik dari benda tersebut. Karena sifatnya yang sangat stabil dan titik didihnya yang tinggi yaitu  $47,6^{\circ}\text{C}$  maka Freon TF mudah disimpan dan dipakai berulang-ulang.

Pada suhu rendah freon solvent dapat juga dipakai untuk mengeringkan air pada bagian-bagian yang susah dikeringkan. Dengan memasukkan freon solvent ke dalam suatu komponen, misalnya evaporator. Air dalam komponen tersebut dapat dikeringkan atau dilarutkan oleh solvent tersebut.

Kebocoran dapat dicari dengan halide leak detector



atau electronic leak detector, tetapi bahan pendingin di dalam sistem harus lebih dahulu dipanaskan sampai  $90^{\circ}\text{C}$  agar tekanannya dapat naik sampai 40 psig.

(8). R 114 - DICHLORO TETRAFLUORO ETHANE (  $\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$  )

Titik didihnya  $38,8^{\circ}\text{F}$  ( $3,8^{\circ}\text{C}$ ) pada tekanan 1 atmosfir. Tekanan penguapannya 16,2 inch Hg vakum pada temperatur  $5^{\circ}\text{F}$  dan tekanan kondensasinya adalah 21,6 psig pada temperatur  $86^{\circ}\text{F}$ . Kalor laten uap adalah 59 Btu/lb pada titik didihnya.

R 114 dipakai dengan menggunakan kompresor sentrifugal untuk air conditioning yang besar. Juga dipakai dengan kompresor rotari untuk lemari es dan pendingin air tawar (water cooler).

R 114 mulai dipakai sejak tahun 1935. Merupakan bahan pendingin yang aman seperti bahan pendingin yang lain dari golongan fluorocarbon. Tidak berwarna, tidak dapat meledak, tidak korosif meskipun berhubungan dengan air.

Pada aerosol R 114 dapat langsung dipakai atau dicampur dengan R 12, terutama dipakai dalam bidang kosmetik. R 114 sangat stabil, tidak berbau dan tidak memberikan efek sampingan jika dipakai dan mengenai kulit tubuh kita.

R 114 dapat bercampur dengan minyak pelumas kompresor pada sisi tekanan tinggi, tetapi pada sisi



tekanan rendah, terutama di evaporator minyak pelumas akan memisah, sama halnya dengan R 22. Kebocoran dapat dicari dengan menggunakan halide leak detector, elektronik leak detector dan lain-lain.

(9). R 500 - AZEOTROPE ( $\text{CCL}_2\text{F}_2$ )

Titik didihnya  $-28,3^\circ\text{F}$  ( $-33,5^\circ\text{C}$ ) pada tekanan 1 atmosfir. Tekanan penguapannya 16,4 psig pada temperatur  $5^\circ\text{F}$  dan tekanan kondensasinya sebesar 112,9 psig pada temperatur  $86^\circ\text{F}$ . Kalor laten uap adalah 88,5 Btu/lb pada titik didihnya.

R 500 adalah suatu campuran azeotrope dari R 12 (73,8% dari berat) dan R 152A Difluoro Ethane (26,2% dari berat). R 500 juga disebut Carrene 7, pada umumnya hanya dipakai untuk mesin-mesin refrigerasi buatan Carrier. Seperti bahan pendingin golongan fluorocarbon yang lain, R 500 tidak dapat terbakar, tidak beracun dan stabil. R 500 mempunyai daya campur dengan minyak pelumas yang baik. Pada temperatur rendah daya campur tersebut sama seperti R 12.

Keuntungan R 500 terhadap R 12 :

1. Jika dipakai dengan mesin yang sama, dapat memberikan kapasitas 18% lebih besar.
2. Dapat dipakai dari daerah 60 Hz dengan R 12 ke daerah 50 Hz dengan R 500 pada mesin yang sama akan memberikan kapasitas yang sama pula.



Pergerakan torak yang diperlukan lebih besar daripada R 22, tetapi lebih kecil daripada R 12. Jika dipakai dengan mesin yang sama dan untuk tujuan yang sama, R 500 dapat memberikan kapasitas 18% lebih besar daripada R 12. Suatu unit R 12 yang kapasitasnya hendak dinaikkan 18%, kita dapat mengusahakan dengan hanya menukar bahan pendinginnya saja dengan R 500.

Jumlah putaran motor listrik berbanding lurus dengan besarnya frekuensi. Motor listrik 60 Hz yang bekerja di daerah 50 Hz, jumlah putarannya hanya tinggal  $\frac{5}{6}$  bagian, dan pergerakan toraknya juga berkurang 18%. Kompresor hermetik 60Hz dengan R 12 akan memberikan kapasitas yang sama jika dipakai untuk daerah 50 Hz dengan R 500. Daya listrik yang diperlukan juga hampir sama.

R 500 mempunyai kemampuan menyerap air yang sangat besar. Apabila sistem hendak diisi dengan R 500, sebelumnya harus dibuat vakum dengan pompa vakum yang khusus, agar semua air dan uap air dapat dikeluarkan. Selain itu, sistem harus memakai pengering (dryer) untuk menyerap sisa air yang masih tertinggal di dalam sistem. Mengisi sistem refrigerasi dengan R 500 tidak banyak perbedaanya dengan R 12, hanya kedua tekanannya pada sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah sedikit lebih tinggi.

Kebocoran dapat dicari dengan halide leak



detector, electronic leak detector, air sabun atau zat warna.



(10). R 502 - AZEOTROPE (  $\text{CHClF}_2$  )

Titik didihnya  $-49,8^{\circ}\text{F}$  ( $-45,4^{\circ}$ ) pada tekanan 1 atmosfer. Tekanan penguapannya sebesar 35,9 psig pada temperatur  $5^{\circ}\text{F}$  dan tekanan kondensasinya sebesar 176,6 psig pada temperatur  $86^{\circ}\text{F}$ . Kalor laten uap pada titik didihnya adalah 76,46 Btu/lb.

R 502 adalah suatu campuran azeotrope dari R 115 (51,2% dari berat) dan R 22 (48,8% dari berat). R 502 mula-mula dipakai pada tahun 1961. Seperti bahan pendingin dari golongan fluocarbon yang lain, R 502 tidak beracun, tidak dapat terbakar dan tidak korosif.

R 502 mempunyai banyak sifat kebaikan dari R 12 dan R 22. Dapat memberikan kepada sistem kapasitas yang sama dengan sisten yang memakai R 12.

Keuntungan R 502 terhadap R 22 :

1. Kapasitasnya 15% - 25% lebih besar ,pada pemakaian temperatur  $-18^{\circ}\text{C}$  dan yang lebih rendah.
2. Kompresor akan bekerja dengan suhu yang lebih rendah sehingga dapat memperpanjang daya tahan katup dan lain-lain bagian dari kompresor.
3. Kepala silinder dari kompresor yang besar tidak perlu didinginkan dengan air karena temperaturnya



sama dengan kompresor yang memakai R 12, sedangkan pada R 22 biasanya diperlukan.

4. Suhu motor dan minyak pelumas tetap rendah, sehingga minyak pelumas kompresor tetap dapat memberikan pelumasan dengan baik, karena kekentalannya tetap tidak berubah.

Pada temperatur  $-18^{\circ}\text{C}$ , R 502 dapat menyerap air 15 kali lebih banyak dari pada R 12 yaitu 12 ppm (part per million) dari berat. Jika R 502 bercampur dengan air harus diperhatikan agar tidak berhubungan dengan seng, magnesium, aluminium yang mengandung lebih dari 2% magnesium, timah solder dan timah untuk penahan kebocoran pada sil (rotary seal) dari poros engkol. Bahan plastik yang dapat dipakai pada R 22 juga dapat dipakai pada R 502, misalnya untuk pengikat kumparan motor listrik dalam kompresor hermetik.

R 502 dapat bercampur dengan minyak pelumas dengan baik pada temperatur di atas  $82^{\circ}\text{C}$ , tetapi di bawah  $25^{\circ}\text{C}$  minyak akan memisah dan mengapung di atas bahan pendingin cair. Sifat ini menyebabkan minyak pelumas dapat ikut ke kondensor yang kemudian ke evaporator dimana minyak pelumas akan memisah dari bahan pendingin. Untuk itu harus diberi alat khusus seperti pemisah minyak (oil separator) untuk mengembalikan minyak pelumas ke kompresor. Kebocoran dapat dicari



dengan halide leak detector, elektronik leak detector, air sabun dan sebagainya.

(11). R 503 - AZEOTROPE (  $\text{CHF}_3$  )

Titik didihnya -  $127,6^{\circ}\text{F}$  ( $-88,7^{\circ}\text{C}$ ) pada tekanan 1 atmosfer. Temperatur penguapan ini sangat rendah, lebih rendah dari R 13. Tekanan penguapannya 249,3 psig pada temperatur  $5^{\circ}\text{F}$ . Temperatur kritisnya  $67,1^{\circ}\text{F}$  ( $19,5^{\circ}\text{C}$ ) dan tekan kritisnya 592,3 psig. Kalor laten uap adalah 77,15 Btu/lb pada titik didihnya.

R 503 adalah suatu campuran azeotrope dari R 13 (59,9% dari berat) dan R 23 (40,1% dari berat). Bahan pendingin ini hampir menyerupai ethylene tetapi tidak mudah terbakar. R 503 dipakai untuk temperatur yang sangat rendah pada sistem cascade, dengan R 12, R 22 atau R 502. Pada sistem cascade dipakai pada tingkat yang terendah sampai pada temperatur  $-90^{\circ}\text{C}$ .

Pada temperatur rendah R 503 mempunyai kemampuan untuk menyerap lebih banyak air daripada bahan pendingin yang lain. Kita harus ingat bahwa pada temperatur rendah memerlukan sistem yang betul-betul kering. Air yang tidak larut dengan bahan pendingin akan membeku menjadi es pada waktu melalui alat pengatur bahan pendingin dari sistem.

Pada temperatur rendah minyak pelumas tidak dapat ikut bersirkulasi dengan bahan pendingin. Pada sistem



cascade harus dilengkapi dengan oil separator atau alat lain untuk mengembalikan minyak pelumas ke kompresor. Kebocoran dapat dicari dengan halide leak detector atau electronic leak detector.

## BAB IV

### REFRIGERANT YANG DIGUNAKAN DI KAPAL

Hingga saat ini refrigerant yang digunakan secara umum baik yang digunakan di darat maupun untuk digunakan di bidang perkapalan dituntut agar tidak membahayakan terhadap lingkungan di sekitarnya. Jangan sampai bila terjadi kebocoran pada sistem pipanya akan meracuni orang-orang di sekitarnya.

Pada umumnya refrigerant yang digunakan pada saat ini termasuk kategori refrigerant aman. Ada suatu jenis refrigerant yang cukup berbahaya tetapi masih sering digunakan sebagai bahan pendingin terutama pada kapal-kapal ikan yaitu amonia. Pada kandungan tertentu dalam udara dianggap masih aman, tetapi bila ada muatan yang terkena langsung bahan pendingin ini akan rusak karena barbau amonia.

Dari bermacam-macam jenis refrigerant yang ada di pasaran, umumnya yang dipakai sebagai bahan pendingin adalah dari jenis R 12, R 22, R 500, R 502 dan Amonia. Orang lebih menyukai jenis refrigerant jenis tersebut karena dari segi termodinamikanya dapat dipakai pada daerah temperatur yang luas mulai dari pendinginan udara sampai ke refrigerasi.

Titik didih refrigerant merupakan indikator yang menyatakan apakah refrigerant yang dimaksud dapat menguap pada temperatur rendah yang diinginkan tetapi pada tekanan



yang tidak terlalu rendah. Sebaiknya refrigerant menguap pada tekanan sedikit lebih tinggi dari tekanan atmosfer sehingga dapat dicegah terjadinya kebocoran udara luar masuk ke sistem karena kemungkinan adanya vakum pada sisi masuk kompresor (bagian tekanan rendah). Refrigerant yang mempunyai titik didih yang rendah biasanya dipakai untuk keperluan operasi pendinginan pada temperatur rendah sedangkan refrigerant yang mempunyai titik didih tinggi digunakan untuk keperluan pendinginan pada temperatur tinggi (pendinginan udara).

#### 4.1. PEMILIHAN REFRIGERANT

Dengan acuan temperatur ruangan yang akan dikondisikan, bisa diperoleh temperatur penguapan dari refrigerant. Dalam merencanakan suatu sistem refrigerasi, temperatur penguapan refrigerant harus direncanakan sedikit lebih rendah dari temperatur ruangan yang akan didinginkan sehingga bisa terjadi perpindahan panas dari ruangan ke refrigerant.

Faktor-faktor yang harus menjadi pertimbangan dalam pemilihan jenis refrigerant seperti yang disyaratkan pada bab sebelumnya. Diantaranya adalah tekanan penguapan sebaiknya sedikit lebih tinggi dari tekanan atmosfer sehingga dapat dihindari kemungkinan adanya vakum pada evaporator dan turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi akibat

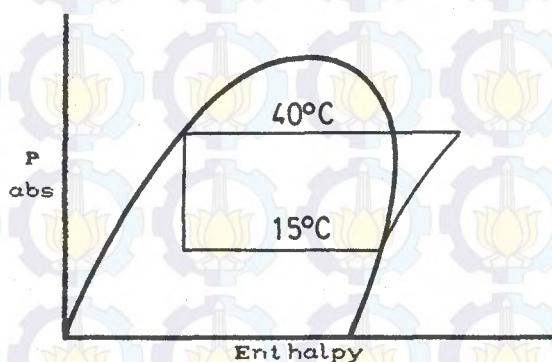


terlalu rendahnya tekanan pada sisi isapnya. Sehingga menyebabkan volume gas yang terisap kompresor menjadi lebih kecil dari pada volume langkah torak pada saat langkah isap. Begitu juga dengan tekanan pengembunannya diusahakan tidak terlalu tinggi agar kompresor bisa bekerja lebih aman dari kemungkinan terjadi kebocoran dan ledakan.

#### 4.2. PERBANDINGAN KARAKTERISTIK TERMODINAMIKA

Perbandingan beberapa jenis refrigerant ini didasarkan pada kondisi temperatur terendah tiap-tiap ruangan seperti dibawah ini :

- 4.2.1. Instalasi AC dengan ruangan yang dikondisikan pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $25^{\circ}\text{C}$ . Dengan kondisi ruangan tersebut maka temperatur penguapan refrigerant harus lebih rendah dari  $20^{\circ}\text{C}$ . Dalam hal ini diasumsikan refrigerant menguap pada temperatur  $15^{\circ}\text{C}$  dan temperatur pengembunan  $40^{\circ}\text{C}$ .



ab. Siklus refrigerasi



1. R 12

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$491,37 \text{ kpa} = 5,012 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$960,65 \text{ kpa} = 9,798 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$9,798/5,012 = 1,955$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 238,535 \text{ kJ/kg} = 56,986 \text{ kkal/kg}$$

$$i_A = 357,730 \text{ kJ/kg} = 85,462 \text{ kkal/kg}$$

$$i_B = 370 \text{ kJ/kg} = 88,393 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Efek refrigerasi } q_e &= i_A - i_D \\ &= 85,462 - 56,986 \\ &= 28,476 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. Kerja kompresi; } Al &= i_B - i_A \\ &= 88,393 - 85,462 \\ &= 2,931 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton} \\ \text{refrigerasi ; } G &= Q / q_e \\ &= 3320 / 28,476 \\ &= 116,589 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h. Koefisien Prestasi ; } KP &= q_e / Al \\ &= 28,476 / 2,931 \\ &= 9,715 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i. Volume spesifik : (cair)} &= 0,798 \text{ l/kg} \\ (\text{gas}) &= 35,413 \text{ l/kg} \end{aligned}$$

2. R.22

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$789,15 \text{ kpa} = 8,049 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$1533,5 \text{ kpa} = 15,642 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$15,642/8,049 = 1,943$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 249,686 \text{ kj/kg} = 59,649 \text{ kkal/kg}$$

$$i_a = 410,430 \text{ kj/kg} = 98,052 \text{ kkal/kg}$$

$$i_b = 427 \text{ kj/kg} = 102,01 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Efek refrigerasi } q_e &= i_a - i_d \\ &= 98,052 - 59,649 \\ &= 38,403 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. Kerja kompresi; } Al &= i_b - i_a \\ &= 102,01 - 98,052 \\ &= 3,958 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton} \\ \text{refrigerasi ; } G &= Q / q_e \\ &= 3320 / 38,403 \\ &= 86,452 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h. Koefisien Prestasi ; } KP &= q_e / Al \\ &= 38,403 / 3,958 \\ &= 9,703 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i. Volume spesifik : (cair)} &= 0,884 \text{ l/kg} \\ (\text{gas}) &= 29,987 \text{ l/kg} \end{aligned}$$





MILIK PERPUSTAKAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH - NOPEMBER

### 3. R 500

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$84,023 \text{ psia} = 5,908 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$165,06 \text{ psia} = 11,605 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$11,605 / 5,908 = 1,964$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 38,182 \text{ Btu/lb} = 21,229 \text{ kkal/kg}$$

$$i_A = 99,603 \text{ Btu/lb} = 55,379 \text{ kkal/kg}$$

$$i_B = 106 \text{ Btu/lb} = 58,936 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Efek refrigerasi } q_e &= i_A - i_D \\ &= 55,379 - 21,229 \\ &= 34,15 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. Kerja kompresi; } A_1 &= i_B - i_A \\ &= 58,936 - 55,379 \\ &= 3,557 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton} \\ \text{refrigerasi ; } G &= Q / q_e \\ &= 3320 / 34,15 \\ &= 97,218 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h. Koefisien Prestasi ; } KP &= q_e / A_1 \\ &= 34,15 / 3,557 \\ &= 9,602 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i. Volume spesifik : (cair) } &= \text{—} \\ (\text{gas}) &= 36,213 \text{ l/kg} \end{aligned}$$

4. R 502

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$890,17 \text{ kpa} = 9,0797 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$1677 \text{ kpa} = 17,1054 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$17,1054/9,0797 = 1,884$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 248,295 \text{ kj/kg} = 59,318 \text{ kkal/kg}$$

$$i_a = 352,571 \text{ kj/kg} = 84,229 \text{ kkal/kg}$$

$$i_b = 364 \text{ kj/kg} = 86,959 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Efek refrigerasi } q_e &= i_a - i_d \\ &= 84,229 - 59,318 \\ &= 24,911 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. Kerja kompresi; } Al &= i_b - i_a \\ &= 86,959 - 84,229 \\ &= 2,73 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton refrigerasi ;  $G = Q / q_e$

$$= 3320 / 24,911$$

$$= 133,274 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{h. Koefisien Prestasi ; } KP &= q_e / Al \\ &= 24,911 / 2,73 \\ &= 9,125 \end{aligned}$$

i. Volume spesifik : (cair) = 0,877 l/kg

$$(\text{gas}) = 19,827 \text{ l/kg}$$



5. Amonia

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$729,79 \text{ kpa} = 7,444 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$1557 \text{ kpa} = 15,881 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$15,881/7,444 = 2,133$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 390,587 \text{ kJ/kg} = 93,311 \text{ kkal/kg}$$

$$i_A = 1475,88 \text{ kJ/kg} = 352,588 \text{ kkal/kg}$$

$$i_B = 1585 \text{ kJ/kg} = 378,657 \text{ kkal/kg}$$

e. Efek refrigerasi  $q_e = i_A - i_D$

$$= 352,588 - 93,311$$

$$= 259,277 \text{ kkal/kg}$$

f. Kerja kompresi;  $Al = i_B - i_A$

$$= 378,657 - 352,588$$

$$= 26,069 \text{ kkal/kg}$$

g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton

refrigerasi ;  $G = Q / q_e$

$$= 3320 / 259,277$$

$$= 12,805 \text{ kg/jam}$$

h. Koefisien Prestasi ;  $KP = q_e / Al$

$$= 259,277 / 26,069$$

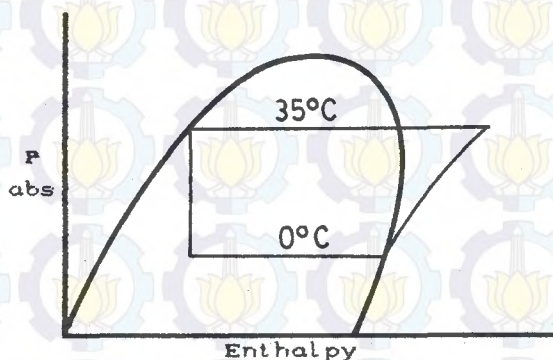
$$= 9,946$$

i. Volume spesifik : (cair) = 1,726 l/kg

$$(\text{gas}) = 174,475 \text{ l/kg}$$

REFRIGERANT	R 12	R 22	R 500	R 502	AMONIA
Tekanan penguapan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	5,012	8,049	5,908	9,079	7,444
Tekanan pengembunan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	9,798	15,642	11,605	17,105	15,881
Perbandingan kompresi	1,955	1,943	1,964	1,884	2,133
Efek refrigerasi (kcal/kg)	28,476	38,403	34,150	24,911	259,277
Kerja kompresi (kcal/kg)	2,931	3,958	3,557	2,730	26,069
Jumlah refrigerant yang bersirkulasi (cair) (kg/jam.ton)	116,589	86,452	97,218	133,27	12,805
Koefisien Prestasi	9,715	9,703	9,602	9,125	9,946
Volume spesifik (cair) (l/kg)	0,798	0,884	-	0,877	1,726
Volume spesifik (gas) (l/kg)	35,413	29,987	36,213	19,827	174,475

4.2.2. Pendingin ruang untuk menyimpan bahan makanan (cold storage) dengan temperatur ruangan 3°C sampai 10°C. Asumsi temperatur penguapan refrigerant 0°C dan temperatur pengembunan 35°C.



Ab. Siklus refrigerasi



1. R 12

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$308,61 \text{ kpa} = 3,148 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$847,72 \text{ kpa} = 8,647 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$8,647/3,148 = 2,747$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 233,498 \text{ kJ/kg} = 55,783 \text{ kkal/kg}$$

$$i_A = 351,477 \text{ kJ/kg} = 83,968 \text{ kkal/kg}$$

$$i_B = 370 \text{ kJ/kg} = 88,393 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Efek refrigerasi } q_e &= i_A - i_D \\ &= 83,968 - 55,783 \\ &= 28,185 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. Kerja kompresi; } A_1 &= i_B - i_A \\ &= 88,393 - 83,968 \\ &= 4,425 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton} \\ \text{refrigerasi ; } G &= Q / q_e \\ &= 3320 / 28,185 \\ &= 117,793 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h. Koefisien Prestasi ; } KP &= q_e / A_1 \\ &= 28,185 / 4,425 \\ &= 6,369 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i. Volume spesifik : (cair)} &= 0,78556 \text{ l/kg} \\ (\text{gas}) &= 55,3892 \text{ l/kg} \end{aligned}$$



MILIK PERPUSTAKAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH - NOPEMBER

## 2. R 22

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$497,59 \text{ kpa} = 5,075 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$1354,8 \text{ kpa} = 13,819 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$13,819/5,075 = 2,723$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 243,114 \text{ kJ/kg} = 58,079 \text{ kkal/kg}$$

$$i_A = 405,361 \text{ kJ/kg} = 96,84 \text{ kkal/kg}$$

$$i_B = 430 \text{ kJ/kg} = 102,727 \text{ kkal/kg}$$

e. Efek refrigerasi  $q_e = i_A - i_D$

$$= 96,84 - 58,079$$

$$= 38,761 \text{ kkal/kg}$$

f. Kerja kompresi;  $A1 = i_B - i_A$

$$= 102,727 - 96,84$$

$$= 5,887 \text{ kkal/kg}$$

g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton

refrigerasi ;  $G = Q / q_e$

$$= 3320 / 38,761$$

$$= 85,653 \text{ kg/jam}$$

h. Koefisien Prestasi ;  $KP = q_e / A1$

$$= 38,761 / 5,887$$

$$= 6,584$$

i. Volume spesifik : (cair) = 0,86729 l/kg

$$(\text{gas}) = 47,1354 \text{ l/kg}$$



3. R 500

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$52,71 \text{ psia} = 3,706 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$145,6 \text{ psia} = 10,237 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$10,237 / 3,706 = 2,762$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 35,49 \text{ Btu/lb} = 19,732 \text{ kkal/kg}$$

$$i_A = 96,618 \text{ Btu/lb} = 53,719 \text{ kkal/kg}$$

$$i_B = 105,75 \text{ Btu/lb} = 58,797 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Efek refrigerasi } q_e &= i_A - i_D \\ &= 53,719 - 19,732 \\ &= 33,987 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. Kerja kompresi; } A_1 &= i_B - i_A \\ &= 58,797 - 53,719 \\ &= 5,078 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton} \\ \text{refrigerasi ; } G &= Q / q_e \\ &= 3320 / 33,987 \\ &= 97,684 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h. Koefisien Prestasi ; } KP &= q_e / A_1 \\ &= 33,987 / 5,078 \\ &= 6,693 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i. Volume spesifik : (cair)} &= \text{—} \\ \text{(gas)} &= 56,817 \text{ l/kg} \end{aligned}$$

4. 502

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$573,13 \text{ kpa} = 5,846 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$1490,45 \text{ kpa} = 15,203 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$15,203/5,846 = 2,601$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 241,939 \text{ kJ/kg} = 57,799 \text{ kkal/kg}$$

$$i_a = 346,634 \text{ kJ/kg} = 82,811 \text{ kkal/kg}$$

$$i_b = 368 \text{ kJ/kg} = 87,915 \text{ kkal/kg}$$

e. Efek refrigerasi  $q_e = i_a - i_d$

$$= 82,811 - 57,799$$

$$= 25,012 \text{ kkal/kg}$$

f. Kerja kompresi;  $Al = i_b - i_a$

$$= 87,915 - 82,811$$

$$= 5,104 \text{ kkal/kg}$$

g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton

refrigerasi ;  $G = Q / q_e$

$$= 3320 / 25,012$$

$$= 132,736 \text{ kg/jam}$$

h. Koefisien Prestasi ;  $KP = q_e / Al$

$$= 25,012 / 5,104$$

$$= 4,901$$

i. Volume spesifik : (cair) = 0,85662 l/kg

$$(\text{gas}) = 30,839 \text{ l/kg}$$



5. Amonia

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$430,43 \text{ kpa} = 4,39 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$1352,2 \text{ kpa} = 13,792 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$13,792 / 4,39 = 3,142$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 366,072 \text{ kJ/kg} = 87,455 \text{ kkal/kg}$$

$$i_A = 1461,7 \text{ kJ/kg} = 349,2 \text{ kkal/kg}$$

$$i_B = 1620 \text{ kJ/kg} = 387,018 \text{ kkal/kg}$$

e. Efek refrigerasi  $q_e = i_A - i_D$

$$= 349,2 - 87,455$$

$$= 261,745 \text{ kkal/kg}$$

f. Kerja kompresi;  $Al = i_B - i_A$

$$= 387,018 - 349,2$$

$$= 37,818 \text{ kkal/kg}$$

g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton

refrigerasi ;  $G = Q / q_e$

$$= 3320 / 261,745$$

$$= 12,684 \text{ kg/jam}$$

h. Koefisien Prestasi ;  $KP = q_e / Al$

$$= 261,745 / 37,818$$

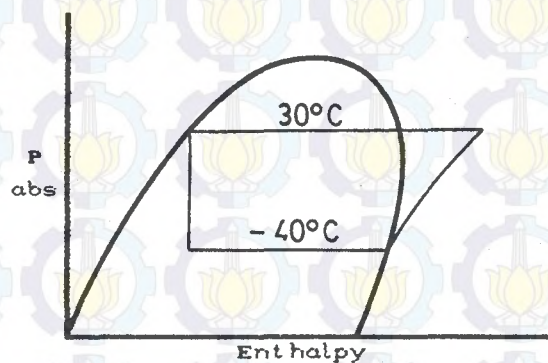
$$= 6,921$$

i. Volume spesifik : (cair) = 1,7023 l/kg

$$(\text{gas}) = 288,88 \text{ l/kg}$$

REFRIGERANT	R 12	R 22	R 500	R 502	AMONIA
Tekanan penguapan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	3,148	5,075	3,706	5,846	4,390
Tekanan pengembunan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	8,647	13,819	10,237	15,203	13,792
Perbandingan kompresi	2,747	2,723	2,762	2,601	3,142
Efek refrigerasi (kcal/kg)	28,185	38,761	33,987	25,012	261,745
Kerja kompresi (kcal/kg)	4,425	5,887	5,078	5,104	37,818
Jumlah refrigerant yang bersirkulasi (cair) (kg/jam.ton)	117,793	85,653	97,684	132,74	12,684
Koefisien Prestasi	6,369	6,584	6,693	4,901	6,921
Volume spesifik (cair) (l/kg)	0,786	0,867	-	0,857	1,702
Volume spesifik (gas) (l/kg)	55,389	47,135	56,817	30,839	288,880

4.2.3. Pendingin untuk ruang muat pada kapal ikan dengan temperatur ruangan  $-35^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $-30^{\circ}\text{C}$ . Asumsi temperatur penguapan refrigerant  $-40^{\circ}\text{C}$  dan temperatur pengembunan  $30^{\circ}\text{C}$ .



ab. Siklus refrigerasi



1. R 12

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$64,17 \text{ kpa} = 0,655 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$744,90 \text{ kpa} = 7,598 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$7,598 / 0,655 = 11,6$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 228,540 \text{ kJ/kg} = 54,598 \text{ kkal/kg}$$

$$i_A = 333,541 \text{ kJ/kg} = 79,683 \text{ kkal/kg}$$

$$i_B = 377,5 \text{ kJ/kg} = 90,185 \text{ kkal/kg}$$

e. Efek refrigerasi  $q_e = i_A - i_D$

$$= 79,683 - 54,598$$

$$= 25,085 \text{ kkal/kg}$$

f. Kerja kompresi;  $A_1 = i_B - i_A$

$$= 90,185 - 79,683$$

$$= 10,502 \text{ kkal/kg}$$

g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton

refrigerasi ;  $G = Q / q_e$

$$= 3320 / 25,085$$

$$= 132,35 \text{ kg/jam}$$

h. Koefisien Prestasi ;  $KP = q_e / A_1$

$$= 25,085 / 10,502$$

$$= 2,389$$

i. Volume spesifik : (cair) = 0,77386 l/kg

$$(\text{gas}) = 241,91 \text{ l/kg}$$

2. R 22

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$104,95 \text{ kpa} = 1,071 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$1191,9 \text{ kpa} = 12,157 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$12,157 / 1,071 = 11,351$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 236,664 \text{ kJ/kg} = 56,539 \text{ kkal/kg}$$

$$i_a = 388,609 \text{ kJ/kg} = 92,839 \text{ kkal/kg}$$

$$i_b = 453 \text{ kJ/kg} = 108,222 \text{ kkal/kg}$$

e. Efek refrigerasi  $q_e = i_a - i_d$

$$= 92,839 - 56,539$$

$$= 36,3 \text{ kkal/kg}$$

f. Kerja kompresi;  $A1 = i_b - i_a$

$$= 108,222 - 92,839$$

$$= 15,383 \text{ kkal/kg}$$

g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton refrigerasi ;  $G = Q / q_e$

$$= 3320 / 36,3$$

$$= 91,46 \text{ kg/jam}$$

h. Koefisien Prestasi ;  $KP = q_e / A1$

$$= 36,3 / 15,383$$

$$= 2,359$$

i. Volume spesifik : (cair) = 0,85193 l/kg

$$(\text{gas}) = 205,745 \text{ l/kg}$$



3. R 500

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$10,95 \text{ psia} = 0,769 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$127,6 \text{ psia} = 8,972 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$8,972 / 0,769 = 11,667$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 32,85 \text{ Btu/lb} = 18,265 \text{ kkal/kg}$$

$$i_A = 87,74 \text{ Btu/lb} = 48,783 \text{ kkal/kg}$$

$$i_B = 110,5 \text{ Btu/lb} = 61,438 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Efek refrigerasi } q_e &= i_A - i_D \\ &= 48,783 - 18,265 \\ &= 30,518 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. Kerja kompresi; } A_1 &= i_B - i_A \\ &= 61,438 - 48,783 \\ &= 12,655 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton} \\ \text{refrigerasi ; } G &= Q / q_e \\ &= 3320 / 30,518 \\ &= 108,788 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h. Koefisien Prestasi ; } KP &= q_e / A_1 \\ &= 30,518 / 12,655 \\ &= 2,412 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i. Volume spesifik : (cair) &= \text{—} \\ (\text{gas}) &= 249,744 \text{ l/kg} \end{aligned}$$

4. R 502

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$129,64 \text{ kpa} = 1,322 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$1318,9 \text{ kpa} = 13,453 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$13,453 / 1,322 = 10,176$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 235,677 \text{ kj/kg} = 56,303 \text{ kkal/kg}$$

$$i_a = 328,147 \text{ kj/kg} = 78,394 \text{ kkal/kg}$$

$$i_b = 371,5 \text{ kj/kg} = 88,751 \text{ kkal/kg}$$

e. Efek refrigerasi  $q_e = i_a - i_d$

$$= 78,394 - 56,303$$

$$= 22,091 \text{ kkal/kg}$$

f. Kerja kompresi;  $Al = i_b - i_a$

$$= 88,751 - 78,394$$

$$= 10,357 \text{ kkal/kg}$$

g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton

refrigerasi ;  $G = Q / q_e$

$$= 3320 / 22,091$$

$$= 150,28 \text{ kg/jam}$$

h. Koefisien Prestasi ;  $KP = q_e / Al$

$$= 22,091 / 10,357$$

$$= 2,133$$

i. Volume spesifik : (cair) = 0,83848 l/kg

$$(\text{gas}) = 127,687 \text{ l/kg}$$



5. Amonia

a. Tekanan penguapan ( dari tabel ) :

$$72,01 \text{ kpa} = 0,7345 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

b. Tekanan pengembunan ( dari tabel ) :

$$1168,6 \text{ kpa} = 11,919 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

c. Perbandingan kompresi :

$$11,919 / 0,7345 = 16,227$$

d. Entalpi :

$$i_c = i_d = 341,769 \text{ kj/kg} = 81,649 \text{ kkal/kg}$$

$$i_A = 1407,26 \text{ kj/kg} = 336,194 \text{ kkal/kg}$$

$$i_B = 800 \text{ kj/kg} = 444,8 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Efek refrigerasi } q_e &= i_A - i_D \\ &= 336,194 - 81,649 \\ &= 254,545 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. Kerja kompresi; } Al &= i_B - i_A \\ &= 444,8 - 336,194 \\ &= 108,606 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g. Jumlah sirkulasi refrigerant untuk tiap ton} \\ \text{refrigerasi ; } G &= Q / q_e \\ &= 3320 / 254,545 \\ &= 13,043 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h. Koefisien Prestasi ; } KP &= q_e / Al \\ &= 254,545 / 108,606 \\ &= 2,344 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i. Volume spesifik : (cair)} &= 1,68 \text{ l/kg} \\ (\text{gas}) &= 1547,36 \text{ l/kg} \end{aligned}$$

REFRIGERANT	R 12	R 22	R 500	R 502	AMONIA
Tekanan penguapan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	0,655	1,071	0,769	1,322	0,7345
Tekanan pengembunan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	7,598	12,157	8,972	13,453	11,919
Perbandingan kompresi	11,600	11,351	11,667	10,176	16,227
Efek refrigerasi (kcal/kg)	25,085	36,300	30,518	22,091	254,545
Kerja kompresi (kcal/kg)	10,502	15,383	12,655	10,357	108,606
Jumlah refrigerant yang bersirkulasi (cair) (kg/jam.ton)	132,350	91,460	108,79	150,28	13,043
Koefisien Prestasi	2,389	2,359	2,412	2,133	2,344
Volume spesifik (cair) (l/kg)	0,77386	0,8519	-	0,8385	1,68000
Volume spesifik (gas) (l/kg)	241,91	205,75	249,74	127,69	1547,36



## BAB V

### KESIMPULAN

Koefisien Prestasi yang tinggi sangat diharapkan, karena hal ini menunjukkan bahwa sejumlah tertentu refrigerasi hanya memerlukan sejumlah kecil kerja. Oleh karena itu :

1. Refrigerant yang baik digunakan untuk AC, dimana refrigerant diasumsikan menguap pada temperatur  $15^{\circ}\text{C}$  dan mengembun pada temperatur  $40^{\circ}\text{C}$  adalah R 12. Hal ini karena :

Harga Koefisien Prestasinya lebih tinggi.

Tekanan kerjanya lebih rendah sehingga sistem bisa bekerja lebih aman.

Tidak beracun, sehingga aman bagi penghuninya.

Tidak mudah meledak atau terbakar.

Tidak korosif.

2. Refrigerant yang baik digunakan untuk Cold Storage, dimana refrigerant diasumsikan menguap pada temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  dan mengembun pada temperatur  $35^{\circ}\text{C}$  adalah R 500. Hal ini karena :

Harga Koefisien Prestasinya tinggi.

Tekanan kerjanya tidak terlalu tinggi.

Tidak beracun sehingga aman bagi bahan makanan.

Tidak mudah meledak atau terbakar

Tidak korosif

3. Refrigerant yang baik digunakan untuk Freezer dimana refrigerant diasumsikan menguap pada temperatur  $-40^{\circ}\text{C}$  dan mengembun pada temperatur  $30^{\circ}\text{C}$  adalah R 22. Hal ini karena:

Tekanan kerja (penguapan) pada temperatur  $-40^{\circ}\text{C}$  masih berada sedikit diatas tekanan atmosfer. Sehingga bila terjadi suatu kebocoran, udara luar tidak akan masuk ke dalam sistem.

Harga Koefisien Prestasinya cukup baik.

Tidak beracun sehingga aman bagi muatan.

Tidak mudah meledak atau terbakar

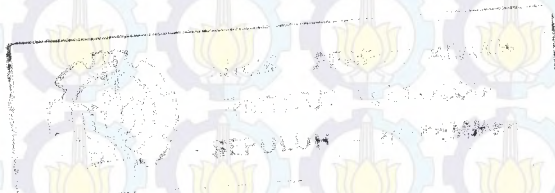
Tidak korosif.



## BAB VI

### PENUTUP

Alhamdulillah, demikianlah tugas akhir ini mudah-mudahan dapat bermanfaat bagi para pembaca khususnya di lingkungan FTK. Saran dan kritik membangun sangat diharapkan penulis.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Arismunandar, Wiranto. Heizo, Saito, 1986. Penyegaran Udara , 3<sup>rd</sup> ed. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
2. D Althouse, B.S (ME), MA. Modern Refrigeration and Air Conditioning.
3. Handoko. Teknik Lemari Es
4. Harahap, Filino, Ir, M Sc, Ph D. Silabaan, Pantur, Ph D. Thermodinamika Teknik. Erlangga, Jakarta.
5. Hariyanto, Bagyo. Kapal Khusus Pengangkut Daging Dari Nusa Tenggara - Jakarta.
6. Indartono,Arie. Perencanaan Sistem Bongkar Muat Kapal Liquified Natural Gas (LNG).
7. Prastyanto, Nanang. Perencanaan Refrigerator Ikan Tuna Di Kapal Tuna Line 100 Dwt Dengan 20 Ton Refrigerasi.
8. R Stocker, Wilbert, 1989. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, 2<sup>nd</sup> ed. Penerbit Erlangga.



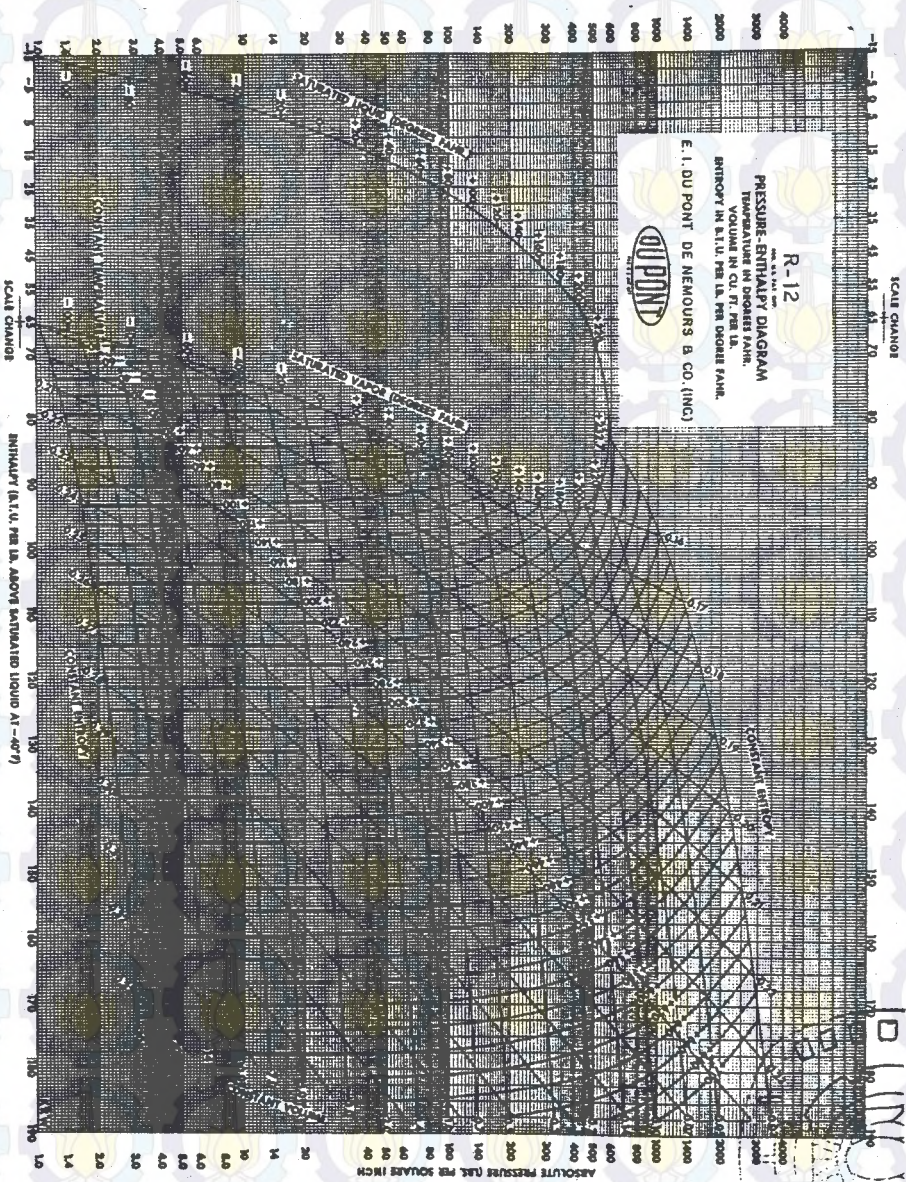
A pressure-enthalpy diagram for R-717.  
(ASHRAE Guide and Data Book)





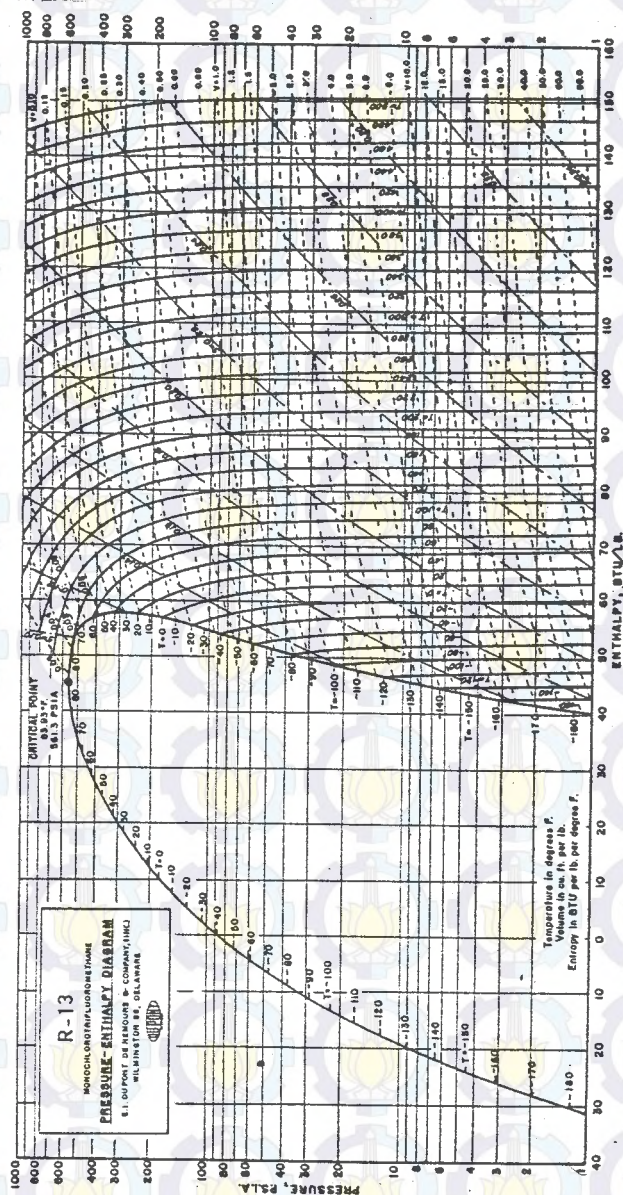






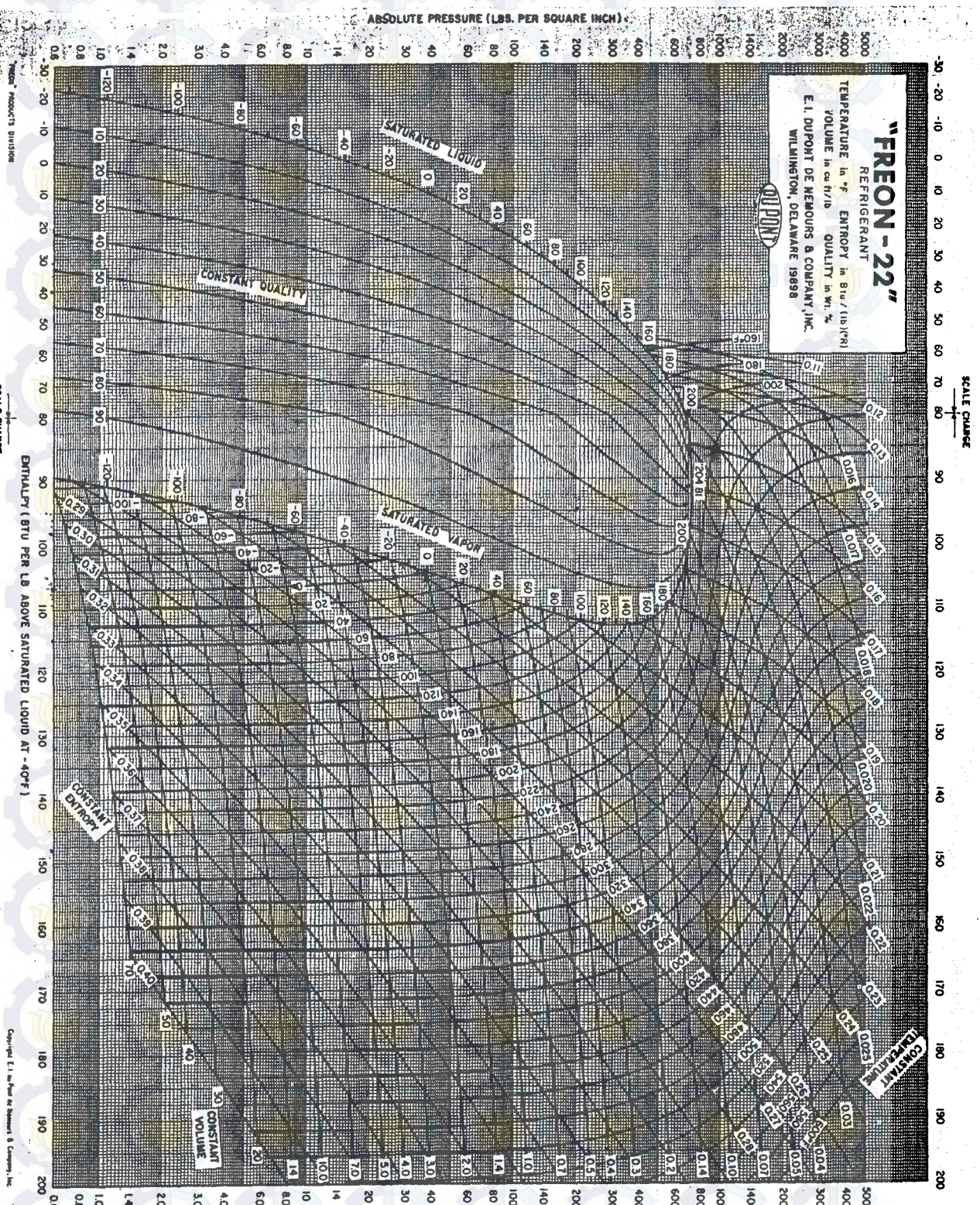
The pressure-enthalpy chart for R-12.





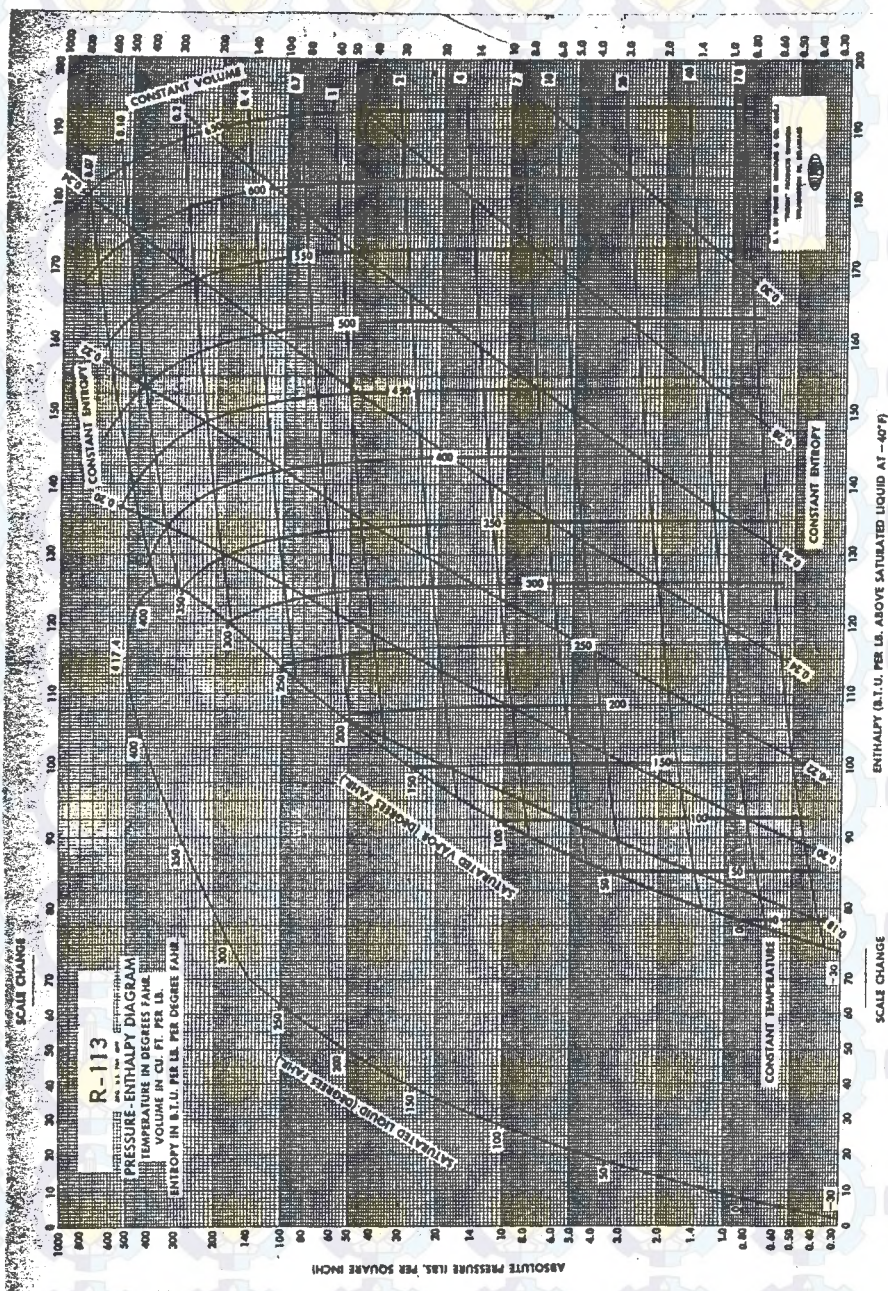
A pressure-enthalpy diagram for R-13.





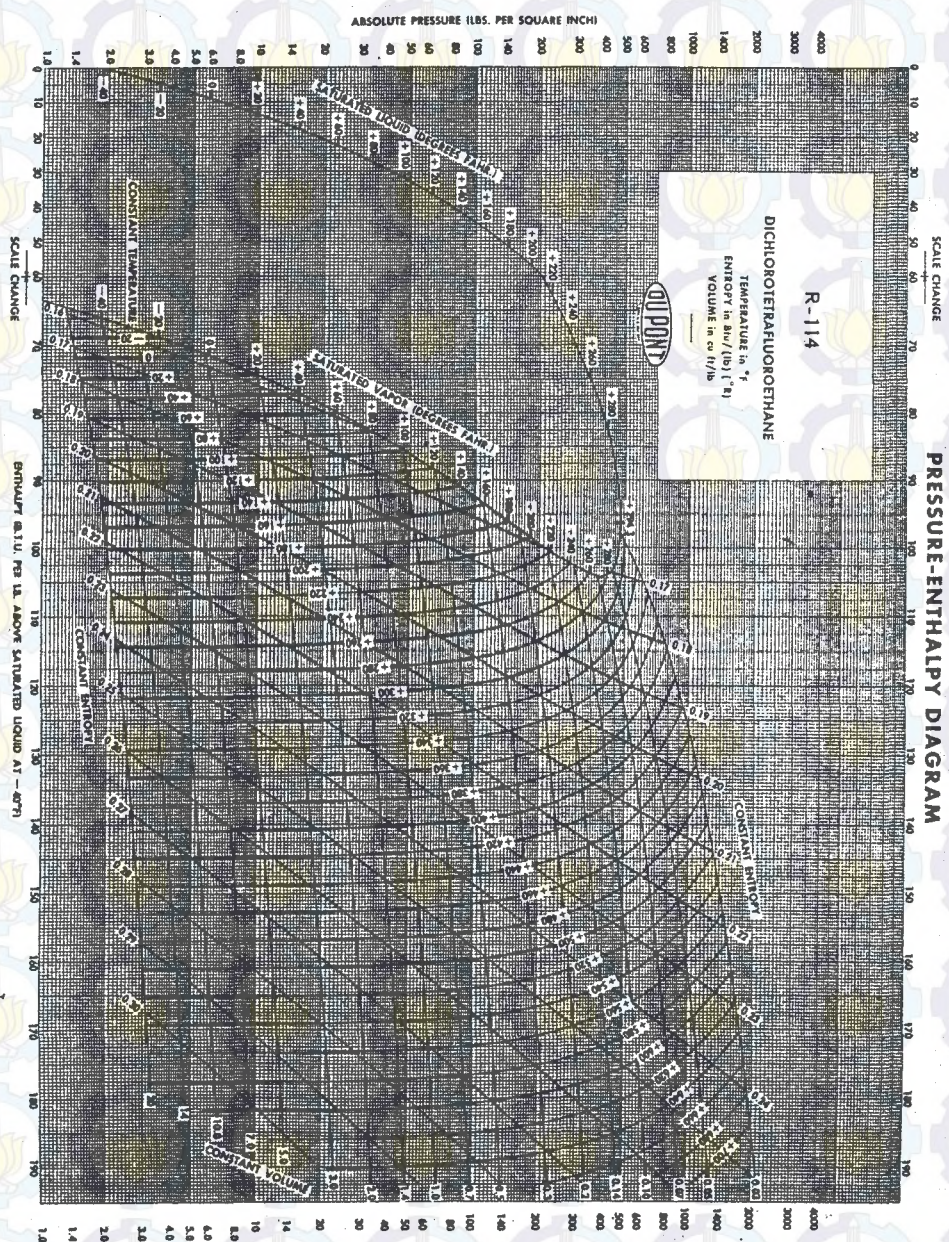
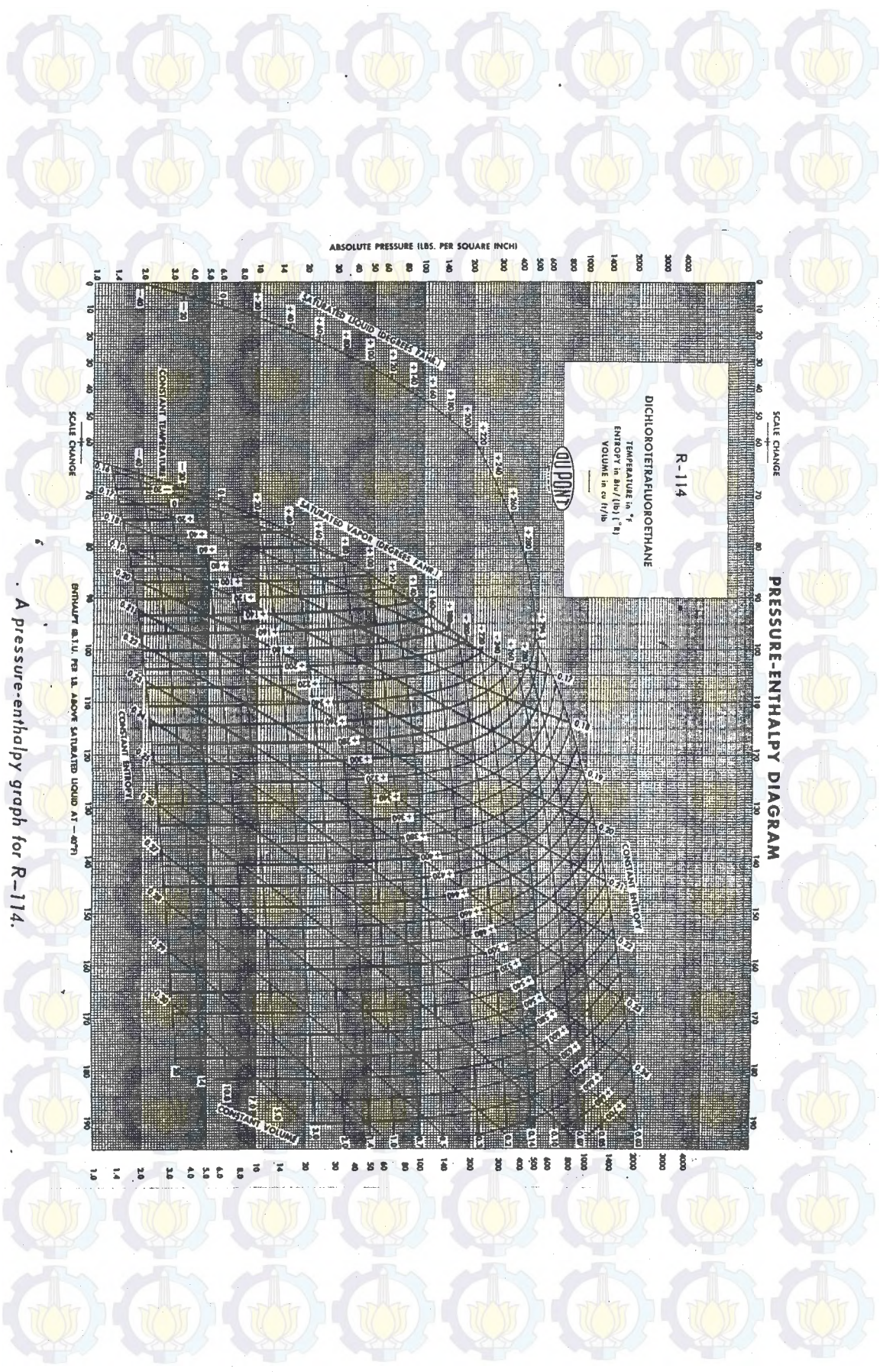
Pressure-enthalpy diagram for refrigerant R-22. Note that 0 of enthalpy scale is taken at -40 F.  
Also note that scale changes at 80 Btu per lb.  
(Freon Products Div. E. I. du Pont de Nemours and Co.)





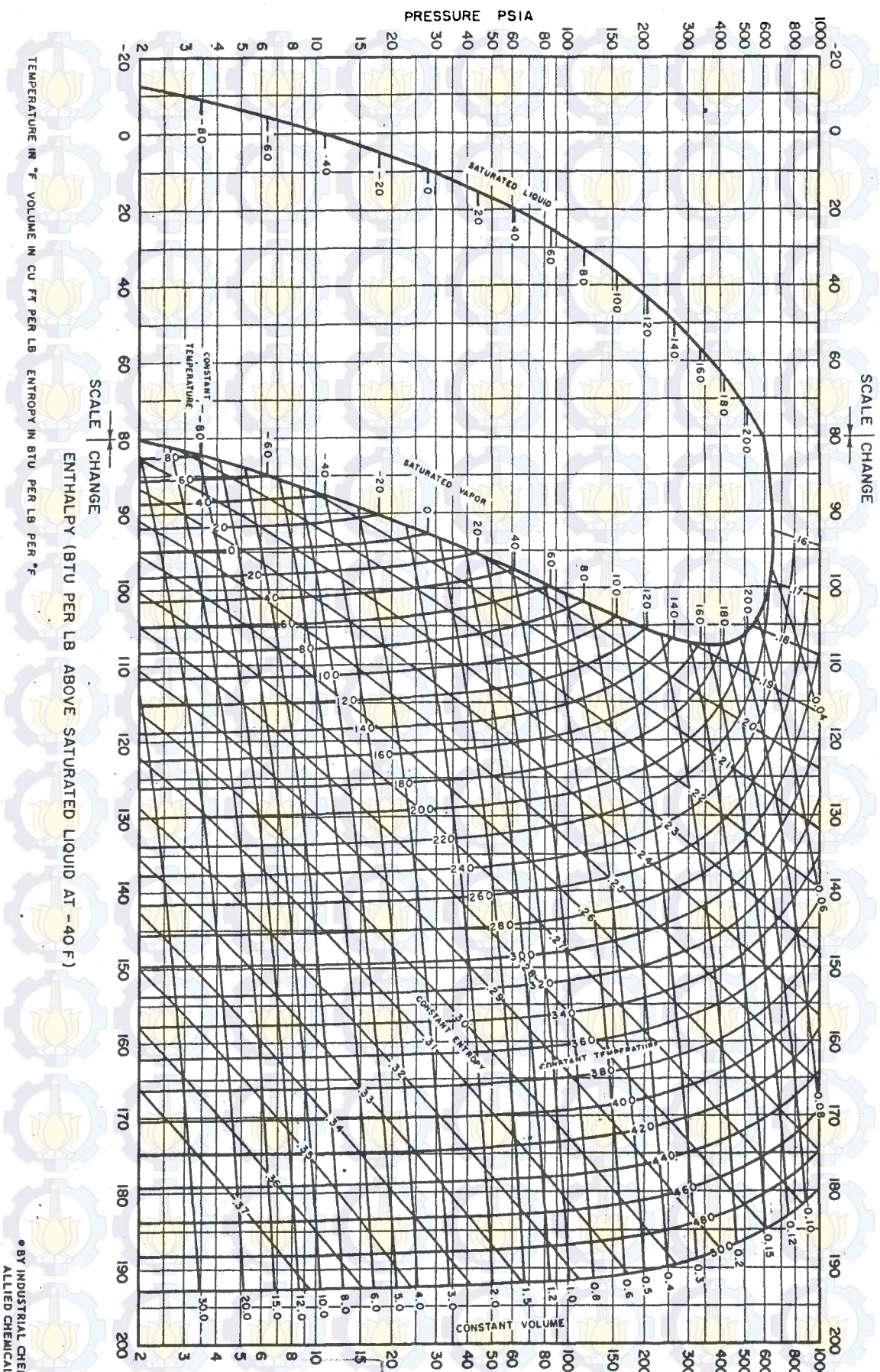
A pressure-enthalpy graph for R-113.





A pressure-enthalpy graph for R-114.



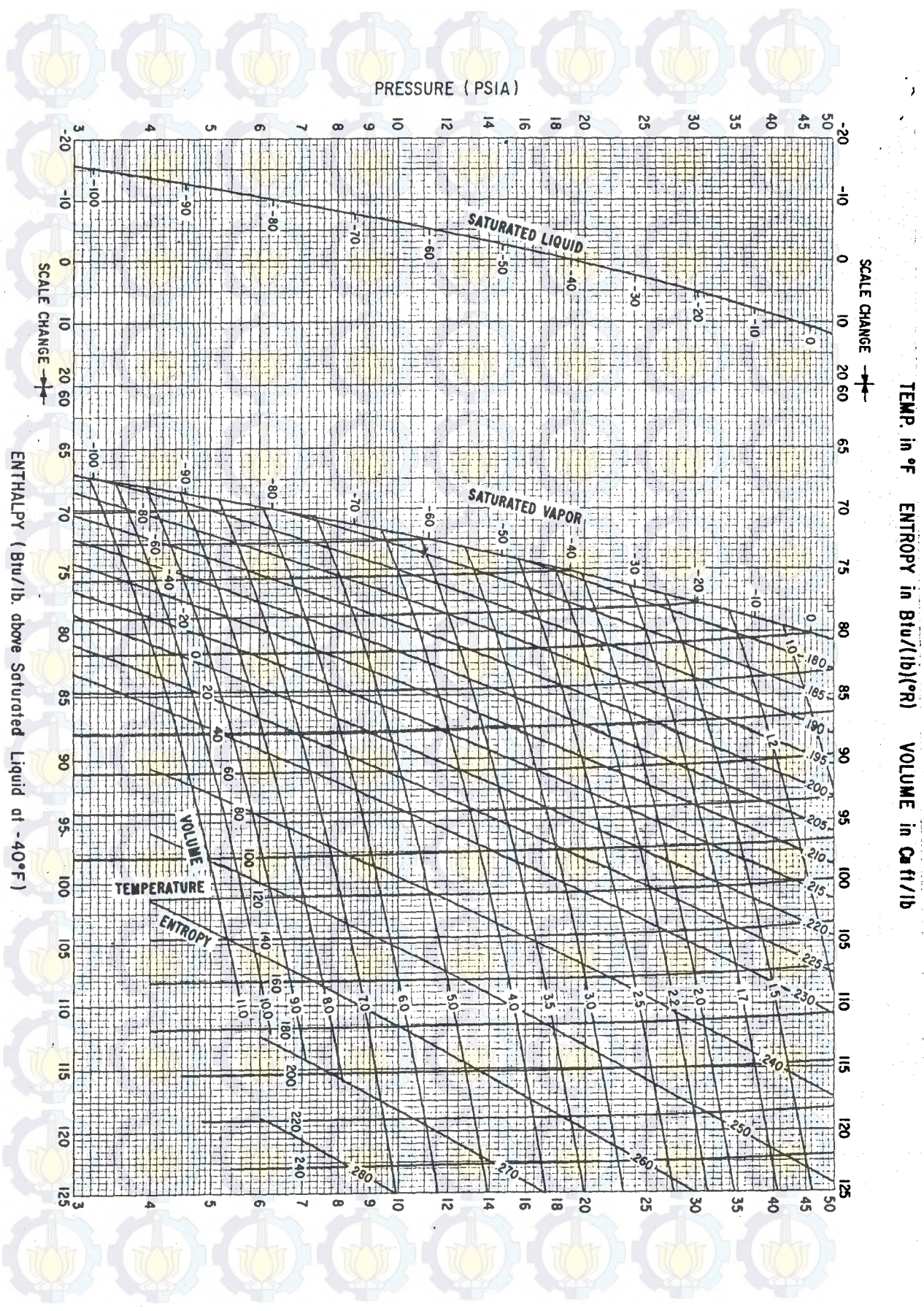


Pressure-enthalpy diagram for refrigerant R-500. Note that 0 of enthalpy scale is taken at -40 F. Also note that scale changes at 80 Btu per lb.

• BY INDUSTRIAL CHEMICAL  
ALLIED CHEMICAL CO







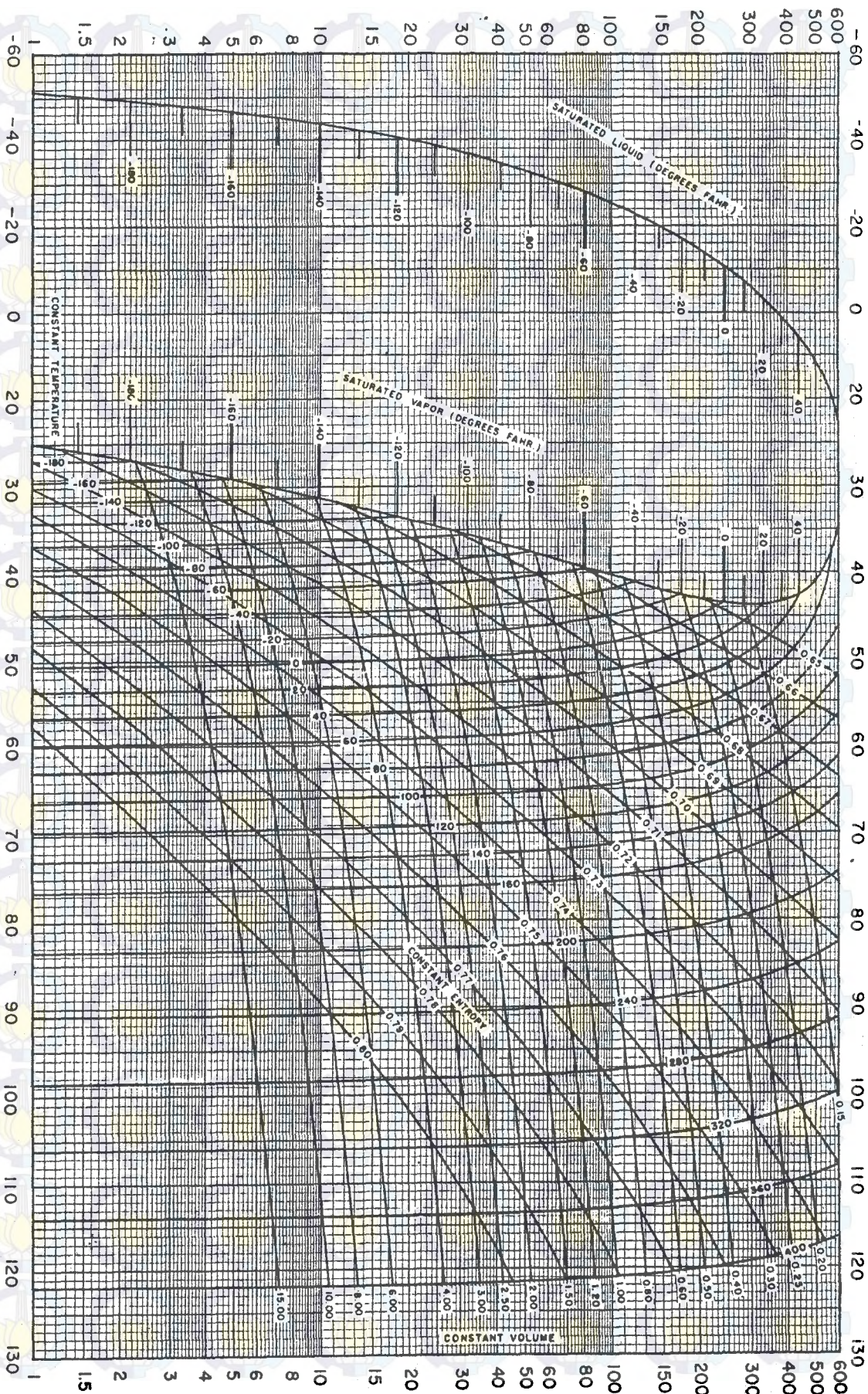
Pressure-enthalpy diagram for refrigerant R-502. Note that 0 of enthalpy scale is at -40 F. Also note that scale changes between 40 and 60 Btu per lb. above saturated liquid.

(Freon Products Div. E. I. du Pont de Nemours Co.)



ABSOLUTE PRESSURE (LBS PER SQ IN.)

SCALE CHANGE



SCALE CHANGE

Pressure-enthalpy diagram for refrigerant R-503.  
(General Chemical Div. Allied Chemical Corp.)

GENERAL CHEMICAL DIV.  
ALLIED CHEMICAL CORP.



Temp. F.	PRESSURE		VOLUME VAPOR	DENSITY LIQUID		HEAT CONTENT BTU/LB.	
	Psia	Psig		Cu. Ft./Lb.	Lb./Cu. Ft.	Liquid	Vapor
-100	1.24	27.4*	182.4	45.52	-63.3	572.5	
-75	3.29	23.2*	72.81	44.52	-37.0	583.3	
-50	7.67	14.3*	33.08	43.49	-10.6	593.7	
-35	12.05	5.4*	21.68	42.86	5.3	599.5	
-25	15.98	1.3	16.66	42.44	16.0	603.2	
-20	18.30	3.6	14.68	42.22	21.4	605.0	
-15	20.88	6.2	12.97	42.00	26.7	606.7	
-10	23.74	9.0	11.50	41.78	32.1	608.5	
-5	26.92	12.2	10.23	41.56	37.5	610.1	
0	30.42	15.7	9.12	41.34	42.9	611.8	
5	34.27	19.6	8.15	41.11	48.3	613.3	
10	38.51	23.8	7.30	40.89	53.8	614.9	
15	43.14	28.4	6.56	40.66	59.2	616.3	
20	48.21	33.5	5.91	40.43	64.7	617.8	
25	53.73	39.0	5.33	40.20	70.2	619.1	
35	66.26	51.6	4.37	39.72	81.2	621.7	
50	89.19	74.5	3.29	39.00	97.9	625.2	
75	140.5	125.8	2.13	37.74	126.2	629.9	
86	169.2	154.5	1.77	37.16	138.9	631.5	
100	211.9	197.2	1.42	36.40	155.2	633.0	
125	307.8	293.1	0.97	34.96	185.1	634.0	

\* Inches of mercury below one atmosphere.

Table of properties of refrigerant R-717 (Ammonia). Note high latent heat of this refrigerant.



Temp. F.	PRESSURE		VOLUME VAPOR	DENSITY LIQUID		HEAT CONTENT BTU/LB.	
	Psia	Psig		Lb./Cu. Ft.		Liquid	Vapor
-150	0.154	29.61*	178.65	104.36		-22.70	60.8
-125	0.516	28.67*	57.28	102.29		-17.59	83.5
-100	1.428	27.01*	22.16	100.15		-12.47	66.2
-75	3.388	23.02*	9.92	97.93		-7.31	69.0
-50	7.117	15.43*	4.97	95.62		-2.10	71.8
-25	13.556	2.32*	2.73	93.20		3.17	74.56
-15	17.141	2.45	2.19	92.20		5.30	75.65
-10	19.189	4.49	1.97	91.70		6.37	76.2
-5	21.422	6.73	1.78	91.18		7.44	76.73
0	23.849	9.15	1.61	90.66		8.52	77.27
5	26.483	11.79	1.46	90.14		9.60	77.80
10	29.335	14.64	1.32	89.61		10.68	78.335
25	39.310	24.61	1.00	87.98		13.96	79.9
50	61.394	46.70	0.66	85.14		19.50	82.43
75	91.682	76.99	0.44	82.09		25.20	84.82
86	108.04	93.34	0.38	80.67		27.77	85.82
100	131.86	117.16	0.31	78.79		31.10	87.63
125	183.76	169.06	0.22	75.15		37.28	88.97
150	249.31	234.61	0.16	71.04		43.85	90.53
175	330.64	315.94	0.11	66.20		51.03	91.48
200	430.09	415.39	0.08	60.03		59.20	91.28

\* Inches of mercury below one atmosphere.

Table of properties of liquid and saturated vapor of refrigerant R-12. Note pressures corresponding to standard evaporating temperature of 5 F. and condensing temperature of 86 F.  
(Freon Products Div. E. I. du Pont de Nemours and Co.)



Temp. F.	Pressure		Volume cu.ft./lb. Vapor	Density lb./cu.ft. Liquid	Heat Content Btu/lb.	
	psig	psia			Liquid hf	Latent h
-200	*29.04"	0.4329	61.33	105.6	-34.551	73.096
-190	*28.40"	0.7490	36.74	104.4	-32.429	72.029
-180	*27.40"	1.238	22.99	103.2	-30.298	70.970
-170	*25.92"	1.967	14.942	102.0	-28.208	69.904
-160	*23.60"	3.104	9.750	100.8	-26.083	68.808
-150	*20.83"	4.464	6.976	99.60	-24.010	67.783
-140	*16.78"	6.455	4.950	98.33	-21.902	66.696
-130	*11.43"	9.080	3.605	96.99	-19.792	65.596
-120	* 4.51"	12.48	2.681	95.69	-17.671	64.473
-110	2.11	16.81	2.031	94.34	-15.527	63.316
-100	7.53	22.23	1.5642	93.02	-13.387	62.138
-90	14.19	28.89	1.2232	91.66	-11.241	60.941
-80	22.28	36.98	0.9689	90.17	-9.052	59.672
-70	31.98	46.68	0.7766	88.73	-6.843	58.362
-60	43.49	58.19	0.6289	87.26	-4.604	56.993
-50	57.01	71.71	0.5139	85.69	-2.320	55.546
-40	72.73	87.43	0.4234	84.10	0.000	54.023
-30	90.90	105.6	0.3512	82.44	2.363	52.416
-20	111.7	126.4	0.2930	80.71	4.809	50.668
-10	135.4	150.1	0.2454	78.86	7.484	48.630
0	162.1	176.8	0.2066	76.98	10.052	46.638
10	192.1	206.8	0.17443	74.91	12.696	44.479
20	225.7	240.4	0.14732	72.73	15.443	42.100
30	263.2	277.9	0.12437	70.32	18.247	39.472
40	304.9	319.6	0.10455	67.70	21.370	36.450
45	327.5	342.2	0.09565	66.27	22.979	34.769
50	351.2	365.9	0.08734	64.68	24.651	32.958
55	376.1	390.8	0.07945	62.97	26.418	30.946
60	402.3	417.0	0.07189	61.09	28.310	28.677
65	429.8	444.5	0.06468	58.96	30.322	26.137
70	458.7	473.4	0.05767	56.46	32.515	23.193
75	489.0	503.7	0.05027	53.36	35.110	19.382
80	520.8	535.5	0.04131	48.85	38.527	13.565
83.93	546.6	561.3	0.02772	36.08	45.271	....

A table of the properties of R-13.



Temp. F.	PRESSURE		VOLUME	DENSITY	HEAT CONTENT	
	Psia	Psig	VAPOUR Cu. Ft./Lb.	LIQUID Lb./Cu. Ft.	Liquid BTU/Lb.	Vapor BTU/Lb.
-150	0.272	29.37*	141.23	98.34	-25.97	87.52
-125	0.886	28.12*	46.69	96.04	-20.33	90.43
-100	2.398	25.04*	18.43	93.77	-14.56	93.37
-75	-5.610	18.50*	8.36	91.43	-8.64	96.29
-50	11.674	6.15*	4.22	89.00	-2.51	99.14
-25	22.086	7.39	2.33	86.78	3.83	101.88
-15	27.865	13.17	1.87	85.43	6.44	102.93
-10	31.162	16.47	1.68	84.90	7.75	103.46
-5	34.754	20.06	1.52	84.37	9.08	103.97
0	38.657	23.96	1.37	83.83	10.41	104.47
5	42.888	28.19	1.24	83.28	11.75	104.96
10	47.464	32.77	1.13	82.72	13.10	105.44
25	63.450	48.75	0.86	81.02	17.22	106.83
50	98.727	84.03	0.56	78.03	24.28	108.95
75	146.91	132.22	0.37	74.80	31.61	110.74
86	172.87	158.17	0.32	73.28	34.93	111.40
100	210.60	195.91	0.26	71.24	39.67	112.11
125	292.62	277.92	0.18	67.20	47.37	112.88
150	396.19	381.50	0.12	62.40	56.14	112.73
175	525.39	510.70	0.08	56.14	66.19	110.83
200	686.36	671.66	0.05	44.57	80.86	102.85

\* Inches of mercury below one atmosphere.

Table of properties of liquid and saturated vapor of refrigerant R-22. Note pressures corresponding to standard evaporating temperature of 5 F. and condensing temperature of 86 F.  
(Freon Products Div. E. I. du Pont de Nemours and Co.)



Temp. F.	Pressure		Volume Gas cu.ft./lb.	Density Liquid lb./cu.ft.	Heat Content Btu/lb.	
	psig	psia			Liquid	Latent
-40	29.31"	.2987	82.26	105.7	0	
-30	29.05"	.4288	58.61	104.8	1.97	72.68
-20	28.69"	.6046	42.48	104.2	3.96	72.09
-10	28.21"	.8377	31.31	103.5	5.96	71.51
0	27.92"	.9802	27.04	103.1	7.98	70.91
5	27.60"	1.142	23.45	102.8	8.98	70.62
10	26.80"	1.534	17.81	102.1	10.00	70.32
20	25.79"	2.031	13.71	101.3	12.03	69.72
30	24.52"	2.655	10.68	100.5	14.08	69.12
40	22.94"	3.427	8.426	99.7	16.16	68.49
50	21.02"	4.374	6.713	99.0	18.24	67.87
60	18.68"	5.523	5.404	98.2	20.35	67.57
70	15.87"	6.902	4.392	97.5	22.48	66.56
80	13.93"	8.545	3.600	96.6	24.63	65.88
86	12.53"	10.48	2.976	95.7	25.93	65.46
90	8.59"	15.40	2.078	94.0	26.80	65.18
100	0.70	21.93	1.491	92.2	28.99	64.46
120		30.44	1.094	90.4	33.48	62.93
140		41.22	.819	88.7	38.05	60.31
160		54.66	.624	86.8	42.74	59.55
180					47.53	57.66
200					52.45	55.62

A table of the properties of R-113.



Temp. F.	Pressure		Volume Gas	Density Liquid	Heat Content	
	psig	psia	cu.ft./lb.	lb./cu.ft.	Btu/Lb. Liquid	Latent
-40	26.12"	1.866	14.02	102.25	0	65.91
-30	24.72"	2.557	10.45	101.37	2.27	65.03
-20	22.91"	3.444	7.921	100.47	4.54	64.16
-10	20.63"	4.564	6.095	99.56	6.81	63.29
0	17.99"	5.958	4.756	98.62	9.09	62.41
5	16.14"	6.772	4.221	98.15	10.23	61.98
10	14.31"	7.671	3.758	97.68	11.37	61.54
20	10.07"	9.753	3.005	96.71	13.66	60.66
30	4.99"	12.25	2.429	95.73	15.97	59.16
40	0.52	15.22	1.982	94.73	18.28	58.86
50	4.03	18.73	1.632	93.71	20.61	57.94
60	8.13	22.83	1.354	92.68	22.95	57.00
70	12.87	27.57	1.133	91.63	25.30	56.05
80	18.34	33.04	0.9541	90.56	27.68	55.05
86	21.99	36.69	.8632	89.91	29.11	54.45
90	24.59	39.29	.8084	89.47	30.06	54.05
100	31.69	46.39	.6890	88.37	32.47	53.01
110	39.71	54.41	.5901	87.25	34.89	51.94
120	48.74	63.44	.5077	86.08	37.33	50.83
130	58.84	73.54	.4387	84.89	39.80	49.67
140	70.09	84.79	.3803	83.66	42.29	48.47

A table of the properties of R-114.



Temp. F.	PRESSURE		VOLUME	DENSITY	HEAT CONTENT	
	Psia	Psig	VAPORE Cu. Ft./Lb.	LIQUID Lb./Cu. Ft.	Liquid	Vapor BTU/LB.
-40	10.95	7.62*	4.0	84.28	0.00	87.74
-30	14.10	1.22*	3.15	83.35	2.38	89.04
-20	17.92	3.23	2.52	82.40	4.79	90.31
-10	22.52	7.82	2.03	81.44	7.22	91.57
0	27.98	13.3	1.66	80.46	9.71	92.81
10	34.43	19.7	1.36	79.46	12.23	94.03
20	41.96	27.3	1.13	78.45	14.79	95.22
30	50.70	36.0	0.94	77.41	17.40	96.39
40	60.75	46.1	0.79	76.34	20.05	97.53
50	72.26	57.6	0.67	75.26	22.75	98.64
60	85.33	70.6	0.57	74.14	25.48	99.71
70	100.1	85.4	0.48	72.98	28.28	100.75
80	116.7	102.0	0.42	71.80	31.12	101.75
86	127.6	113.0	0.38	71.06	32.85	102.33
90	135.3	121.0	0.36	70.56	34.01	102.70
100	155.9	141.0	0.31	69.28	36.97	103.60
110	178.8	164.0	0.27	67.95	40.00	104.44
120	204.1	189.0	0.23	66.55	43.10	105.22
130	231.9	217.0	0.20	65.08	46.29	105.91
140	262.4	248.0	0.17	63.51	49.58	106.51

\* Inches of mercury vacuum.

A table of the properties of the liquid and saturated vapor of the refrigerant R-500. Note the pressures corresponding to the evaporating temperature of 10 F. and the condensing temperature of 86 F.  
(Industrial Chemicals Div. Allied Chemical Corp.)



Temp. F.	PRESSURE		VOLUME VAPOR	DENSITY		HEAT CONTENT	
	Psia	Psig		Lb./Cu. Ft.	LIQUID	Liquid BTU/LB.	Vapor
-100	3.230	23.34*	10.84	98.49	-15.15	67.37	
-75	7.318	15.02*	5.07	96.05	-8.90	70.63	
-50	14.74	0.04	2.64	93.47	-2.57	73.97	
-25	27.02	12.33	1.50	90.74	3.90	77.07	
-20	30.22	15.52	1.35	90.18	5.21	77.69	
-15	33.69	18.99	1.22	89.60	6.54	78.32	
-10	37.46	22.76	1.10	89.02	-7.86	78.93	
-5	41.53	26.84	1.00	88.44	9.20	79.54	
0	45.94	31.24	0.91	87.84	10.54	80.15	
5	50.68	35.99	0.82	87.24	11.89	80.75	
10	55.79	41.09	0.75	86.63	13.25	81.33	
15	61.27	46.57	0.69	86.02	14.62	81.92	
20	67.14	52.45	0.63	85.39	15.99	82.49	
25	73.42	58.73	0.57	84.86	17.37	83.05	
50	111.6	96.89	0.38	81.44	24.42	85.67	
75	162.7	148.0	0.26	77.84	31.74	87.88	
86	198.8	175.1	0.22	76.13	35.06	88.68	
100	229.1	214.4	0.18	73.80	39.37	89.47	
125	313.4	298.7	0.12	69.05	47.33	90.02	
150	418.6	403.9	0.08	62.84	55.32	88.79	
160	467.3	452.6	0.07	59.49	58.21	87.74	

\* Inches of mercury below one atmosphere.

Table of properties of liquid and saturated vapor of refrigerant R-502. Note pressure corresponding to standard evaporating temperature of 5 F. and condensing temperature of 86 F.  
(Freon Products Div. E. I. du Pont de Nemours Co.)



Temp. F.	PRESSURE		VOLUME	DENSITY		HEAT CONTENT	
	Psia	Psig	VAPOR Cu. Ft./Lb.	LIQUID Lb./Cu. Ft.	Liquid	BTU/LB	Vapor
-140	9.94	9.69*	3.88	96.0	-43.58		31.27
-130	13.67	2.09*	2.89	94.7	-41.96		32.36
-120	18.45	3.57	2.19	93.4	-40.25		33.45
-110	24.48	9.78	1.69	92.0	-38.46		34.52
-100	31.97	17.3	1.32	90.6	-36.55		35.57
-90	41.15	26.5	1.04	89.2	-34.54		36.60
-80	52.27	37.6	0.83	87.7	-32.42		37.59
-70	65.59	50.9	0.67	86.1	-30.17		38.54
-60	81.38	66.7	0.54	84.5	-27.79		39.45
-50	99.90	85.2	0.44	82.8	-25.29		40.31
-40	121.5	107.0	0.37	81.1	-22.64		41.10
-30	146.3	132.0	0.30	79.2	-19.83		41.81
-20	174.8	160.0	0.25	77.2	-16.87		42.44
-10	207.1	192.0	0.21	75.2	-13.73		42.96
0	243.7	229.0	0.18	72.9	-10.38		43.35
10	284.7	270.0	0.15	70.5	-6.82		43.57
20	330.5	316.0	0.12	67.8	-3.00		43.58
30	381.3	367.0	0.10	64.7	2.03		43.29
40	437.3	423.0	0.08	61.1	5.77		42.54
50	499.0	484.0	0.07	56.6	11.10		40.97
60	566.4	552.0	0.05	49.8	18.59		35.91

\* Inches of mercury below one standard atmosphere.

Table of properties of liquid and saturated vapor of refrigerant R-503. Note that temperature of -120 F. with evaporator pressure above atmospheric. To operate in above 0 F. temperature range evaporator pressures in excess of 250 psig will be required. (General Chemical Div. Allied Chemical Corp.)



# R-744 Carbon Dioxide

Temp. F.	Pressure		Volume Vapor cu.ft./lb.	Density Liquid lb./cu.ft.	Heat Content	
	psi	psia			Btu/lb. Liquid	Latent
-40	131.2	145.9	.6113	69.6	0	137.9
-30	163.3	178.0	.5025	68.2	4.7	133.6
-20	200.4	215.0	.4165	66.7	9.2	129.5
-10	242.8	257.5	.3465	65.2	13.9	125.0
0	291.1	305.8	.2905	63.7	18.8	120.1
5	317.6	332.3	.2659	62.8	21.3	117.6
10	345.7	360.4	.2435	61.9	24.0	114.8
20	407.1	421.8	.2048	60.2	29.6	108.9
30	475.9	490.6	.1720	58.2	35.6	102.2
40	552.6	567.3	.1442	56.0	41.8	95.0
50	638.0	652.7	.1204	53.6	48.5	86.6
60	732.7	747.4	.0995	50.75	55.7	76.5
70	837.8	852.5	.0800	47.4	63.7	64.1
80	954.6	969.3	.0600	42.2	74.0	45.0
86	1031.0	1045.7	.0479	37.2	83.4	27.1
87.8	1057.4	1072.1	.0345	29.1	97.1	0

Table of properties of R-744. Note this is a high pressure refrigerant. At -20 F. the refrigerant boils under pressure of 200 psi.



Refrigerant Number	Name	Chemical Symbol	Trade Name	Molecular Weight	Odor	Toxicity	Flammability	Pressure psia at 5 F.	Pressure psia at 86 F.	Latent Heat at 5 F.	Sp. Heat of Liquid at 5 F.	Critical Temperature of	Critical Pressure psia	Sp. Volume of Gas at 5 F.	Density of Liquid in a 5 F. #/cu. ft.	CP/CV Ratio	Sp. Heat of Vapor at 86 F.
R-764	Sulphur Dioxide	SO <sub>2</sub>		64.06	Pungent	High	Non	11.81	66.45	172.3	.34	314.8	1141.5	6.421	92	1.256*	.34
R-40	Methyl Chloride	CH <sub>3</sub> Cl		50.489	Sweet	Med.	Slight	20.89	95.53	180.6	.45	289.6	969.2	4.530	61	1.20	.4
R-717	Ammonia	NH <sub>3</sub>		17.031	Pungent	High	Slight	34.27	169.2	565	1.10	271.4	1651	8.150	41.11	1.247	1.10
R-160	Ethyl Chloride	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	Alcozol	64.51	Ethanol	Med.	Yes	4.65	27.10	177	.47	369	764	17.55	59.00	1.13	.42
R-12	R-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>		120.9	Sweet	Low	Non	26.61	107.9	68.2	.215	232.6	582.0	1.485	90	...	.243
R-13	R-13	CClF <sub>3</sub>		104.46	Sweet	Low	Non	...	...	63.85	.247	84	561	.431	77	1.172	...
R-744	Carbon Dioxide	CO <sub>2</sub>		44.005	Non	Med.	Non	334.4	1039.0	116	.5	87.8	1066.2	.2673	61.22	1.30**	1.95
R-611	Methyl Formate	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>		60.04	Slight	...	Slight	1.96	13.69	236	.515	417	870	46.7	...	...	.515
R-30	Methylene Chloride	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Carrene No. 1	84.9	Sweet	...	Yes	1.17	10.6	162.1	.34	421	670	50.58	...	...	.34
R-114	R-114	C <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> F <sub>4</sub>		170.93	Sweet	Low	Non	6.76	36.2	55#	.15#	294.3	474.0	...	99.1#	...	.20#
R-21	R-21	CHCl <sub>2</sub> F	Thermon	102.92	Sweet	Low	Non	5.5	30.5	105.5	.26	353.3	750.0	8.83	90.1	...	.26
R-22	R-22	CHClF <sub>2</sub>		86.48	Sweet	Low	Non	43.02	174.5	93.43	.11.97	204.8	716	1.246	83.34	...	.34
R-11	R-11	CCl <sub>3</sub> F	Carrene No. 2	137.38	Sweet	Low	Non	29.31	18.28	84.0	.197	388.4	635.0	12.3	97.8	...	.20
R-114	R-114	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>		170.93	Sweet	Low	Non	...	...	58.9	.238	294	474	.488	73.1	1.088	.160
R-113	R-113	C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> F <sub>3</sub>		187.4	Sweet	Low	Non	.98	7.86	70.62	.199	417.4	495	27.04	103	...	.26
R-500	R-500	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> /CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>		-99.29	Sweet	Low	Non	31.07	128.14	85.03	.11.83	221.1	631	1.5227	80.10	4.61	...
R-502	R-502	CHClF <sub>2</sub> + CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>		111.64	Sweet	Low	Non	50.68	175.1	68.86	.027	194.1	618.7	.825	87.24	4.37	.07
R-290	Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>		44.06	Sweet	Low	Yes	41.9	155	170.2	.56	302	661.5	2.48	34.33	...	.55
R-171	Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>		30.04	Sweet	Low	Yes	236.0	675.0	150.5	.66	90.1	730	.533	26.96	...	.83
R-600	Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>		58.12	Sweet	Low	Yes	8.2	41.6	170.7	.51	308	529	9.98	38.41	...	.51
R-1381	Kulene 131	CF <sub>3</sub> Br		...	Ethanol	Low	Non	77.93	261.8	44.88	.182	1535	587	.3854	112	...	.10
R-115	Monochloropentafluoroethane	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>		154.48	Sweet	Low	Non	38	148.9	...	...	175.9	...	.82	...	3.76	...

\* at 70 F. \*\* at 32 F. # at 70 F.

Table of properties of refrigerants.